

陈晓玲,管维良,侯东园,等.不同干燥方式对苹果蟠桃纸的感官品质和理化特性的影响[J].食品工业科技,2022,43(20):51-59.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120099

CHEN Xiaoling, GUAN Weiliang, HOU Dongyuan, et al. Effects of Different Drying Methods on the Sensory Quality and Physical and Chemical Properties of Apple-peach Flat Leather[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(20): 51-59. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120099

· 研究与探讨 ·

不同干燥方式对苹果蟠桃纸的感官品质和理化特性的影响

陈晓玲^{1,2,3}, 管维良^{1,2}, 侯东园^{1,2}, 蔡路昀^{1,2,*}, 张进杰^{3,*}

(1.浙江大学宁波研究院,生物系统工程与食品科学学院,浙江宁波 315000;

2.浙大宁波理工学院生物与化学工程学院,浙江宁波 315000;

3.宁波大学食品与药学学院,浙江宁波 315300)

摘要:为了研究不同干燥方式对苹果蟠桃纸的感官品质和理化特性的影响,本文采用五种干燥方式(烘箱热风干燥、烤箱干燥、微波炉干燥、烤箱-烘箱联合干燥、烤箱-微波炉联合干燥)制备苹果蟠桃纸,考察不同干燥方式制备的苹果蟠桃纸在感官评定、质构、色泽、褐变度、总酚和维生素C含量、抗氧化活性等方面的差异。结果表明,烘箱热风干燥的产品的形态、口感、色泽、风味更能吸引感官评定人员,感官评定分数为最高(86.7),总酚类含量最高(5.66 mg GAE/g dw)、抗氧化活性较强(DPPH 自由基清除率 66.00%,FRAP 法测定的总还原能力 0.32 mmol Trolox/g dw),但维生素C含量较低(4.56 mg/100 g)、褐变程度较高。微波炉干燥的苹果蟠桃纸维生素C含量最高(9.78 mg/100 g),但感官评定分数最低为 66.7,总酚含量(4.11 mg GAE/g dw)和抗氧化活性最低(DPPH 自由基清除率 58.00%,FRAP 法测定的总还原能力 0.18 mmol Trolox/g dw)。烤箱-烘箱联合干燥和烤箱-微波炉联合干燥的产品则没有突出优势。综上,建议在苹果蟠桃纸生产中不采用微波炉干燥,采用烘箱热风干燥。

关键词:水果纸,干燥方式,感官评定,营养物质,抗氧化活性

中图分类号:TS255.42

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2022)20-0051-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120099

本文网刊: 

Effects of Different Drying Methods on the Sensory Quality and Physical and Chemical Properties of Apple-peach Flat Leather

CHEN Xiaoling^{1,2,3}, GUAN Weiliang^{1,2}, HOU Dongyuan^{1,2}, CAI Luyun^{1,2,*}, ZHANG Jinjie^{3,*}

(1.College of Biosystems Engineering and Food Science, Ningbo Research Institute,

Zhejiang University, Ningbo 315000, China;

2.College of Biological and Chemical Engineering, Ningbo Technology University, Ningbo 315000, China;

3.College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315000, China)

Abstract: To investigate the impact of various drying methods on the sensory quality and physical and chemical properties of apple-peach flat leather, five drying methods (hot air drying, oven drying, microwave drying, oven-hot air combined drying and oven-microwave combined drying) were used to prepare apple-peach flat leather. The differences in sensory evaluation, texture, color, browning degree, content of total phenol and vitamin C and antioxidant activity of apple-peach flat leather prepared by different drying methods were investigated. Hot air-dried products were found to be more attractive to sensory assessors in terms of taste, color, and flavor. Furthermore, they received the highest sensory rating score (86.7),

收稿日期: 2021-12-09

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFF0414425);余姚市科技计划项目(2020NS01)。

作者简介: 陈晓玲(1998-),女,硕士研究生,研究方向:食品营养与健康,E-mail: 1434911043@qq.com。

* 通信作者: 蔡路昀(1981-),男,博士,教授,研究方向:食品营养与健康,E-mail: cailuyun@zju.edu.cn。

张进杰(1981-),男,博士,副教授,研究方向:水产品加工,E-mail: jackace@163.com。

the highest total phenolic content (5.66 mg GAE/g dw), strong antioxidant activity (DPPH free radical clearance rate was 66%, the total reducing capacity of FRAP was 0.32 mmol Trolox/g dw), but the vitamin C content was lower (4.56 mg/100 g) and the browning degree was higher. Microwave dried apple-peach flat leather had the highest vitamin C content (9.78 mg/100 g), but the lowest sensory evaluation score was 66.7, total phenol content (4.11 mg GAE/g dw) and the lowest antioxidant activity (DPPH free radical scavenging rate was 58%, The total reduction capacity of FRAP was 0.18 mmol Trolox/g dw). There were no distinguishing features in the products by oven-hot air combined drying and oven-microwave combined drying. According to the findings of the study, microwave oven drying was not advised for the manufacturing of apple-peach flat leather, but hot air drying could be used instead.

Key words: fruit leather; drying method; sensory evaluation; nutrients; antioxidant activity

蟠桃和苹果含有丰富的微量元素、维生素和多酚等,具有抗氧化、抗炎和抗菌特性,抗抑郁和抗癌作用,并且可以预防糖尿病、神经性疾病、心血管疾病和口腔疾病等^[1-3]。据统计,我国桃和苹果的种植面积和产量均居世界首位^[1-2],而苹果的产能过剩^[3]、蟠桃的高度易腐烂的特性导致在收获季节期间造成巨大的营养和经济损失^[4],鲜果含水量高、不易贮运是果品行业目前存在的主要瓶颈问题。

水果纸或水果皮(fruit leather),是一种脱水的干果薄片小吃,是新鲜水果打浆、熬煮、干燥后营养、能量和矿物质的浓缩产品,是一种健康营养美味的甜点或零食^[5]。水果纸的形状为柔韧的片状,薄而软,表面光滑、均匀一致,具有水果清香风味,口味清淡鲜美,咀嚼愉快,黏度适中,富含营养素,脂肪含量低;质量轻,易储存和包装;水果纸是一种天然、健康和可口的零食,能作为糖果等的极好替代品供消费者食用,同时能满足消费者对食品健康绿色高品质的要求。国内外已有很多学者报道出水果纸的相关研究,包括猕猴桃^[6-7]、芒果^[8]等。果浆熬煮至果泥是水果纸制作的关键,在这个过程中,水果富含的果胶会发生果胶凝胶作用,形成一个三维的凝胶网络,从而使水果泥能够发挥粘结剂的作用,使之干燥后成型^[9]。新鲜水果泥脱水干燥是水果纸加工中最重要步骤,其可以延长存储时间,减少运输和储存过程中的物理损伤和品质恶化^[10]。然而,果泥的熬煮和干燥过程中会发生一些不利的变化,如维生素和膳食纤维等有益健康化合物的损失等。为了减少水果纸中营养物质的损失和保证水果纸的良好的感官特性,有学者研究了水果纸在不同的干燥方法和条件下发生的物理、化学变化,进行多种营养物质的测定。如 Eyiz 等^[11]采用两种不同的干燥方法(对流干燥和真空干燥)制作山楂纸,分别在 50、60 和 70 °C 进行干燥,测定了水果纸的色泽、水分含量、总酚含量、总黄酮含量、抗坏血酸含量和抗氧化活性。研究结果表明,山楂纸的高温干燥提高了总酚类含量,抗坏血酸含量较低,褐变程度较高。与对流干燥相比,真空干燥只体现了样品抗氧化活性的优势。

本研究以新鲜苹果和蟠桃为原料,采用五种干燥方式,烘箱热风干燥(hot air drying, AD)、烤箱干燥(oven drying, OD)、微波炉干燥(microwave drying,

MD)、烤箱-烘箱联合干燥(oven-hot air combined drying, OAD)和烤箱-微波炉联合干燥(oven-microwave combined drying, OMD),对新鲜水果进行打浆、熬煮、干燥处理,对得到的苹果蟠桃纸的理化特性进行品质评价,可以针对水果的季节性过剩现象,最大限度地进行加工利用避免因鲜果腐烂造成的损失;不断提升加工工艺,以最大限度地减少有益的生物活性化合物的损失,旨在为消费者提供具有更高营养价值和更具便利性的产品,以期为水果纸产品的研发和加工提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

同一生产地的成熟的无损伤、无压痕的红富士苹果,7月中旬成熟的新鲜完好无损的黄蟠桃 新疆石河子市;抗坏血酸标准品 上海晶纯生化科技股份有限公司;没食子酸标准品(纯度>99%)、6-羟基-2,5,7,8-四甲基色烷-2-羧酸(Trolox)标准品(纯度>99%),2,6-二氯酚钠盐合物、福林酚、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH)、2,4,6-三吡啶基三嗪(2,4,6-Tri(2-pyridyl)-1,3,5-triazine, TPTZ) 上海易恩化学技术有限公司;其他化学试剂 国药集团化学试剂有限公司。

CT-C-I 型热风循环烘箱 南京华莎干燥设备有限公司;电磁炉 广东顺德忠臣电器有限公司;M1-L213C 微波炉、T3-L385B 电烤箱 广东美的厨房电器制造有限公司;PAL-1 手持数显糖度计 日本 ATAGO 公司;TA.XT Plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司;CHROMA METER CR-400 色差仪 日本 Konica minolta 公司;Spectra Max i3 全波长扫描多功能酶标仪 美国 Molecular devices 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 苹果蟠桃纸的制作

1.2.1.1 混合果泥制备工艺 参考倪震丹等^[12]的方法,并稍作修改。新鲜水果挑选、去皮、称重;打浆 30 s,得到果浆;过 20 目筛,得到过滤后的果浆;使用 500 W 功率的电磁炉将苹果浆熬煮成苹果泥,苹果泥的糖度约 22%,苹果泥能够发挥粘结剂的作用;将鲜榨蟠桃汁(糖度为 11%)加入上述苹果泥中,苹果泥和蟠桃汁质量比为 2:1,混合果泥糖度为 18%。

1.2.1.2 干燥处理 分别采用烘箱热风干燥、烤箱干燥、微波炉干燥、烤箱-烘箱联合干燥、烤箱-微波炉联合干燥对苹果和蟠桃混合果泥进行干燥。为控制样品干燥的时间和含水量, 间隔 30 min 取出少量样品使用水分自动测定仪测定样品的含水率, 当水果纸的含水率在 22% 左右时停止干燥。干燥结束后将苹果蟠桃纸取出, 冷却至室温后用真空包装袋常温保存备用。

烘箱热风干燥: 参考蔡路昀等^[13]的方法并稍作修改, 使用 CT-C-I 热风循环烘箱热风干燥, 新鲜果泥样品均匀摆放在热风循环烘箱内烤盘上, 样品模具为 300 mm×250 mm×7 mm, 干燥温度条件为 80 ℃, 干燥时间约 7.5 h 以获得 21%~23% 的最终水分, 最终产品厚度为 1.5~2 mm。

烤箱干燥: 参考 Concha 等^[14]的方法并稍作修改, 使用 T3-L385B Midea 电烤箱无鼓风干燥, 额定功率 1800 W, 385 mm×280 mm 烤盘上铺满混合新鲜果泥, 设置 80 ℃ 上下双管无鼓风加热 8 h。

微波炉干燥: 参考 Suna 等^[15]的方法并稍作修改, 使用家用微波炉加热约 10 min, 输出功率为 700 W。干燥量约 100 g。

烤箱-烘箱联合干燥: 样品均匀摆放在热风循环烘箱内烤盘上, 设置温度条件为 80 ℃, 干燥约 5 h 后, 在额定功率 1800 W 的电烤箱下干燥约 1.5 h。

烤箱-微波炉联合干燥: 样品均匀摆放在热风循环烘箱内烤盘上, 设置温度条件为 80 ℃, 干燥约 5 h 后, 在输出功率 700 W 的微波炉下干燥约 1 min。

1.2.2 苹果蟠桃纸品质指标的测定

1.2.2.1 含水率测定 参照国家标准 GB 5009.3-2016^[16]中的直接干燥法对样品的含水率进行测定。

1.2.2.2 感官评定 以形态、口感、色泽、风味为评定指标, 满分为 100 分, 其中形态和口感占比分别为 30%, 色泽和风味占比分别为 20%。感官评定标准如表 1 所示^[17-19]。感官评定小组由 15 位有经验的人员组成, 按照以下评分标准进行感官评分, 取平

均值。

1.2.2.3 质构测定 参考姚隆洋^[20]的方法使用 TA-XT plus 测试仪测定, 并稍作修改。采用 P/36R 型探头测定, 每个样品做 6 个平行, 取平均值。测定条件为: 测前速度 2.00 m/s, 测中速度 1.00 m/s, 侧后速度 1 mm/s, 应变比例 50%, 触发力 5 g, 测试时间 5 s, 两次循环。

1.2.2.4 色泽测定 参考 Wojdyło 等^[21]的方法, 并稍作修改。以仪器白板为标准, 每个样品平行测定 6 次, 记录相应的亮度值 L^* 、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 。同时对处理组和新鲜果泥的总色泽差异值 ΔE 进行评价。 ΔE 可由以下公式计算得出:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2}$$

式中: ΔE 为经过干燥处理的苹果蟠桃纸与新鲜果泥的色泽差异值, L^* 、 a^* 、 b^* 分别为经干燥处理苹果蟠桃纸的亮度、红绿值和黄蓝值, L_0 、 a_0 、 b_0 分别为新鲜果泥的亮度、红绿值和黄蓝值。

1.2.2.5 褐变度测定 参考孙若琳^[22]的方法, 并稍作修改。水果纸样品 3 g 研磨后加入 10 倍质量纯水匀浆, 10000 r/min 离心 10 min, 取上清液于 420 nm 波长下测吸光值, 结果用吸光值/重量表示。

1.2.2.6 可溶性固形物测定 使用手持糖度计测定样品匀浆(水果纸与纯水的质量比为 1:10), 读数, 根据标准 NYT 2637-2014^[23]中的可溶性固形物温度校正值进行换算。

1.2.2.7 总酸测定 参照国家标准 GB 5009.239-2021^[24]中的酸碱指示滴定法对样品的总酸进行测定。

1.2.2.8 维生素 C 含量测定 参照国家标准 GB 5009.86-2016^[25]中的 2,6-二氯酚酚滴定法对样品的维生素 C 含量进行测定, 结果以苹果酸计。

1.2.2.9 总酚含量测定 样品总酚的提取: 将 5 g 水果纸样品于研钵中充分研磨至匀浆状, 准确称取 1.000 g 样品置于三角瓶中, 加入 45 mL 60% 乙醇溶

表 1 感官评定标准
Table 1 Sensory evaluation standard

评定项目	评定标准	分值(分)
形态	成纸完整细腻, 组织紧密, 无碎片, 易揭纸	20~30
	成纸完整, 较细腻, 组织较紧密, 少量碎片, 较易揭纸	11~20
	成纸不完整, 粗糙, 碎片多, 易撕断, 难揭纸	0~10
口感	酸甜适中, 口感好, 咀嚼有嚼劲易化渣	20~30
	较酸或较甜, 口感一般, 咀嚼易化渣	11~20
	特别酸或甜, 难以接受, 咀嚼缺乏嚼劲	0~10
色泽	亮黄有光泽, 色泽均匀, 基本一致	16~20
	色泽较暗淡、较均匀	11~15
	色泽暗黑偏棕色、不均匀	0~10
风味	样品体现特定的风味很充分, 苹果和蟠桃香浓烈	16~20
	样品体现特定的风味较充分, 只有一种水果香味	11~15
	样品体现特定的风味不充分, 无果香	0~10

液, 摇匀, 超声波处理条件为 25 ℃, 250 W, 120 min, 将浸提液离心 8000 r/min, 10 min, 取上清液, 用 60% 乙醇溶液定容于 50 mL 容量瓶中。

采用福林酚法, 参考张利娟^[26]的方法, 并稍作修改。以没食子酸计, 标准曲线: $Y=3.1464X+0.0391$, $R^2=0.9994$, 其中, Y 为吸光值, X 为质量浓度(mg/mL)。根据以下公式计算总酚含量。结果使用干重(dry weight, dw)表示。

$$X = \frac{W \times N \times V}{m}$$

式中: X 为样品中总酚含量(mg GAE/g dw), W 为通过标准曲线计算得到的质量浓度(mg/mL), V 为待测液体积(mL), N 为样品稀释倍数, m 为样品质量(g)。

1.2.2.10 DPPH 自由基清除率测定 参考 Demarchi 等^[9]的方法, 并稍作修改。样品提取液制备方法同 1.2.2.9, 取样品提取液与 DPPH 溶液(1×10^{-4} mol/L)在 517 nm 处测量吸光值。

DPPH 自由基清除率(%) = $[1 - (A_1 A_2) / (A_3 - A_4)] \times 100$

式中: A_1 为 100 μ L 样品溶液与 100 μ L DPPH 溶液的吸光值, A_2 为 100 μ L 样品与 100 μ L 无水乙醇的吸光值, A_3 为 100 μ L 无水乙醇与 100 μ L DPPH 溶液的吸光值, A_4 为 200 μ L 无水乙醇吸光值。

1.2.2.11 总还原能力测定(Ferric reducing antioxidant power, FRAP 法) 参考曾庆帅^[27]的方法, 并稍作修改。样品提取液制备方法同 1.2.2.9, 吸取 200 μ L 样品提取液和 2.8 mL FRAP 工作液于 37 ℃ 暗室反应 30 min, 后于 593 nm 下测定吸光值, 以 Trolox 为标准物质计。FRAP 抗氧化能力表示为 mmol Trolox/g dw 当量。

1.3 数据处理

数据处理采用 SPSS 25.0 软件及 Origin 2021 软件进行数据统计分析与作图。每个处理重复 3 次, 结果表示为平均值 $\pm$ 标准差, 采用 Duncan 事后检验进行显著性分析, 显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式对苹果蟠桃纸感官评定的影响

通过感官评定(图 1), 烤箱干燥和烘箱热风干燥的成品在形态、色泽、口感和风味上都无明显差异,

而微波炉干燥和其他干燥存在显著性差异($P < 0.05$)。评定人员总体上更喜欢烘箱热风干燥或烤箱干燥的产品, 评分分别为 86.7 和 86.6。烘箱热风干燥和烤箱干燥的产品外观整齐, 组织紧密程度较其他产品的大, 色泽呈深黄色, 酸甜适中, 具有一定嚼劲, 带有苹果和蟠桃特有的香气。有研究者发现评定人员的总体接受度与样品风味、色泽、糖酸比呈正相关^[28]。这表明高温长时间加热对苹果蟠桃纸的形态和口感具有积极影响。而评定人员普遍上对微波炉加热后的成品不满意, 微波炉加热后的产品的感官评分最低为 66.7, 整体接受度最低。微波炉干燥的产品四周的组织紧密程度较中间的高, 色泽不均匀(中间为亮黄色, 四周偏棕色), 不够美观, 质地绵软, 咀嚼度低, 有新鲜苹果和蟠桃的果香, 没有美拉德反应产生的特有风味。这是由于微波炉加热的原理决定的, 没有进行高温长时间加热, 缺少美拉德反应, 且由于微波场加热的不均匀性导致苹果蟠桃纸色泽不均匀。

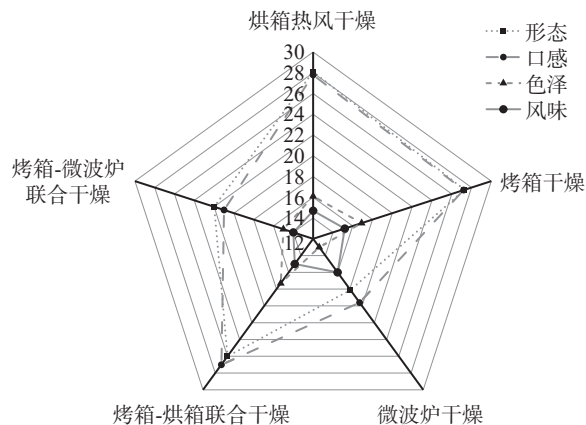


图 1 不同干燥方式的苹果蟠桃纸的感官评分结果

Fig.1 Sensory scores of apple-peach flat leather processed by different drying methods

2.2 不同干燥方式对苹果蟠桃纸质构特性的影响

不同干燥方式处理的苹果蟠桃纸的硬度值、粘结力、胶着力和咀嚼度值见表 2, 其中, 烘箱和烤箱的硬度值、粘结力、胶着力无显著性差异, 烤箱-烘箱干燥和烤箱-微波炉干燥的粘结力、咀嚼度无显著性差异, 其他均呈现显著性差异($P < 0.05$)。硬度、粘结力、胶着力和咀嚼度可用于预测产品的感官属性。硬度指待测物达到特定比例形变时所受的压力, 是第一次压缩时的最大峰值。样品组织致密程度是影响

表 2 不同干燥方式的苹果蟠桃纸的 TPA 分析参数

Table 2 TPA parameters of apple-peach flat leather processed by different drying methods

干燥方式	硬度	粘结力	胶着力	咀嚼度
烘箱热风干燥	13366.29 $\pm$ 108.53 ^a	0.97 $\pm$ 0.01 ^a	12987.48 $\pm$ 127.62 ^a	14880.36 $\pm$ 4278.23 ^b
烤箱干燥	13086.58 $\pm$ 55.38 ^a	0.98 $\pm$ 0.01 ^a	12776.49 $\pm$ 55.34 ^a	14537.66 $\pm$ 3760.61 ^a
微波炉干燥	1664.95 $\pm$ 414.26 ^d	0.79 $\pm$ 0.10 ^c	1339.32 $\pm$ 471.16 ^d	1278.51 $\pm$ 498.25 ^d
烤箱-烘箱干燥	9457.75 $\pm$ 248.59 ^b	0.92 $\pm$ 0.02 ^{ab}	3209.20 $\pm$ 272.88 ^c	8151.21 $\pm$ 401.30 ^c
烤箱-微波炉干燥	7791.23 $\pm$ 189.60 ^c	0.85 $\pm$ 0.09 ^{bc}	1652.92 $\pm$ 630.60 ^b	6484.51 $\pm$ 948.19 ^c

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

其硬度的指标之一,组织致密程度越大,样品硬度越大。烘箱热风干燥和烤箱干燥时,可能由于加热温度较高,初始干燥速度加快,从而形成质地较硬的苹果蟠桃纸^[29]。水果泥的熬煮会导致可溶性固形物增加,这也是苹果蟠桃纸的硬度值较大的原因之一^[29]。如表 2 数据显示,本研究中的苹果蟠桃纸硬度与胶着力和咀嚼性呈正比关系($R^2=0.7129$),与 Sarkar 等^[29]制作的芒果纸结果类似。粘结力反映了咀嚼时水果纸样品对口腔上颚、舌头、牙齿等接触面粘着的性质。水果纸中的糖类在脱水浓缩时发生聚合反应,粘结力的大小与水果的果胶含量有关。咀嚼度是硬度、粘结力、胶着力的综合表现,反映了水果纸从咀嚼状态到可吞咽状态所需的能量,在一定范围内,其值越大说明口感方面越好^[13],干燥方式中,烘箱热风干燥后的咀嚼度最大。

2.3 不同干燥方式对苹果蟠桃纸色泽的影响

食品的色泽会影响消费者的购买欲和接受度。苹果蟠桃纸干燥过程中颜色的变化与干燥时间和温度有关^[30]。不同干燥方式处理的苹果蟠桃纸亮度值 L^* 、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 和色差值 ΔE 如图 2 所示。所有经过干燥处理的样品的亮度和黄度都显著高于未干燥的果泥($P<0.05$),这表明干燥可以提高样品的亮度和黄度。与其他干燥方法相比,经微波炉处理的样品(微波炉干燥和烤箱-微波炉联合干燥)显示出更高的亮度值、黄度值和更低的 ΔE 值,其中微波炉干

燥产品的色泽值分别为 $L^*48.71$, $b^*24.69$, $\Delta E13.65$ 。这可能是由于微波干燥速率快,样品暴露在空气中的时间较短,维生素 C 分解较少,美拉德反应和褐变反应较少。Suna 等^[15]在使用两种功率微波炉(90 W 和 180 W)和两种热风温度(60 °C 和 70 °C)干燥枸杞泥时,发现使用高功率微波炉时,干燥时间短,产品色泽更佳。而烘箱热风干燥和烤箱干燥属于高温环境,苹果蟠桃纸干燥过程中会发生美拉德反应、色素降解、酶促褐变和维生素 C 氧化,因此苹果蟠桃纸的色泽发生显著的变化($P<0.05$)。本研究结果与 Suna 等^[15]的研究结果类似,微波炉干燥的样品色泽浅,烘箱热风干燥的色泽深。综上,本研究中使用微波炉干燥的产品比其他干燥方法具有更好的色泽表现,有利于提高产品的接受度。

2.4 不同干燥方式对苹果蟠桃纸褐变度、可溶性固形物和总酸含量的影响

褐变度是表现产品色泽的重要特性,褐变反应主要取决于温度和水分活度^[31]。在本研究中,如图 3 所示,苹果蟠桃纸的烘箱热风干燥和烤箱干燥的较高温环境会导致苹果蟠桃纸的褐变度值高于微波炉干燥。烘箱和烤箱干燥时的长时间高温环境会促进苹果蟠桃纸的美拉德反应,因此产品的褐变程度较高^[20]。此外,微波能量可以使酶失活,且微波加热速率快,因此短时缺氧的微波炉干燥的苹果蟠桃纸褐变程度较低。

可溶性固形物和总酸是与产品口感相关的两个重要属性,会影响干燥食品的味道、风味和保质期。食品中的总可溶性固形物代表总糖分。如图 3 所示,经过干燥处理的样品相比未干燥样品,可溶性固形物的含量显著提高($P<0.05$)。其中,微波炉干燥的样品可溶性固形物最高。这是因为苹果和蟠桃本身含有很多膳食纤维和糖类物质,干燥处理时果泥中水分的蒸发和糖的焦糖化反应会导致总糖含量增加^[14]。

如图 3 所示,5 种干燥方式处理的苹果蟠桃纸总酸含量与混合新鲜果泥相比均显著增加($P<0.05$)。其中,微波炉干燥的样品总酸含量最低。数据表明烘箱热风干燥和烤箱干燥的样品有较高的总酸,有利于协调苹果蟠桃纸的糖酸比,更能满足消费者的需求,也可能赋予产品更长的保质期。

综上,微波炉干燥的样品褐变度最低,可溶性固形物含量最高,而烘箱热风干燥和烤箱干燥的样品的可溶性固形物含量和总酸含量有利于协调苹果蟠桃纸的糖酸比,这可能会更容易吸引消费者。

2.5 不同干燥方式对苹果蟠桃纸维生素 C 含量的影响

果蔬中的维生素 C 极易受环境因素,如氧气、水分、温度、酸碱度、金属离子等的影响而发生氧化降解^[32]。如图 4 所示,干燥处理后样品的维生素 C 含量都低于新鲜果泥样品(10.54 mg/100 g)。干燥对样品维生素 C 的含量有负面影响。不同干燥方法对维

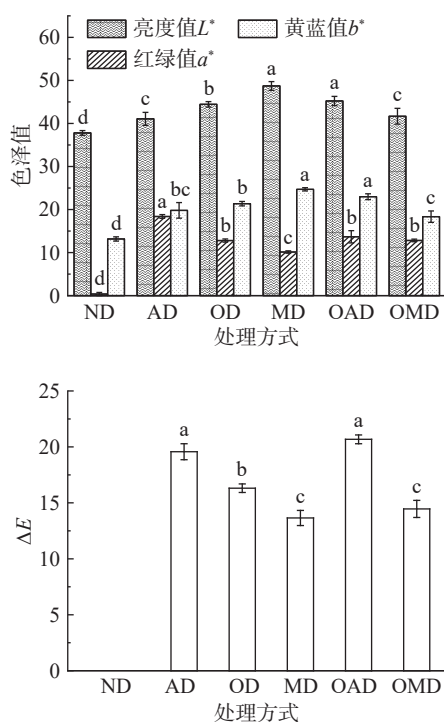


图 2 不同干燥方式的苹果蟠桃纸的亮度值 L^* 、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 和 ΔE

Fig.2 L^* , a^* , b^* , and ΔE of apple-peach flat leather processed by different drying methods

注: ND: 未干燥果泥,下同;同组不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

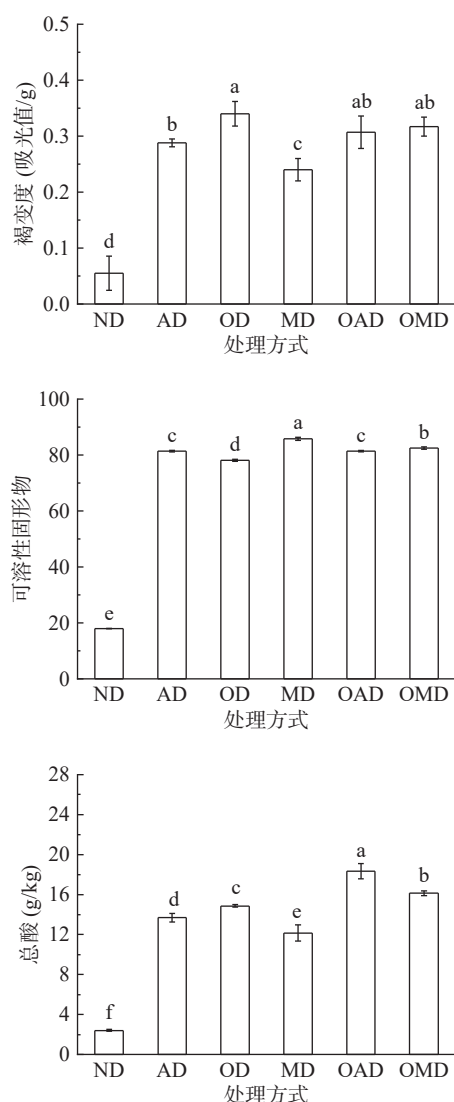


图3 不同干燥方式的苹果蟠桃纸的褐变度、可溶性固形物和总酸含量结果

Fig.3 Browning degree, soluble solids and total acid content of apple-peach flat leather processed by different drying methods

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$); 图4~图6同。

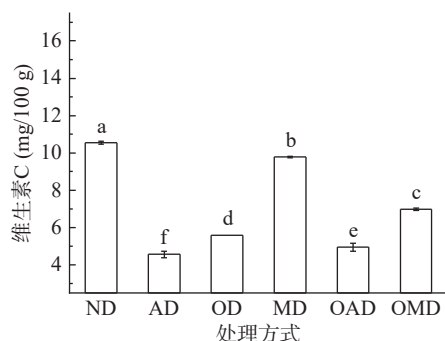


图4 不同干燥方式的苹果蟠桃纸的维生素C含量结果

Fig.4 Vitamin C content of apple-peach flat leather processed by different drying methods

生素C含量影响显著 ($P<0.05$)。微波炉干燥表现出最高的维生素C含量 (9.78 mg/100 g), 其次是烤箱-微波炉干燥 (6.97 mg/100 g)。维生素C在脱水过程

中被氧化为脱氢维生素C, 然后进行脱羧、环化等反应而被分解形成3-羟基-2-吡喃酮^[33]。烘箱热风干燥对维生素C的保留效果最差 (4.56 mg/100 g), 可能是预处理的熬煮和干燥时长时间高温环境导致维生素C的显著降解^[32] ($P<0.05$)。已有大量文献证明维生素C在高温下易被降解, 且温度越高, 维生素C的降解率越高^[34]。

2.6 不同干燥方式对苹果蟠桃纸总酚含量的影响

酚类化合物是水果中重要的抗氧化物质^[14]。如图5所示, 5种干燥方式处理的苹果蟠桃纸的总酚含量与混合新鲜果泥相比均显著增加 ($P<0.05$)。不同干燥方式的苹果蟠桃纸中总多酚含量依次为: AD>OD>OAD>OMD>MD。

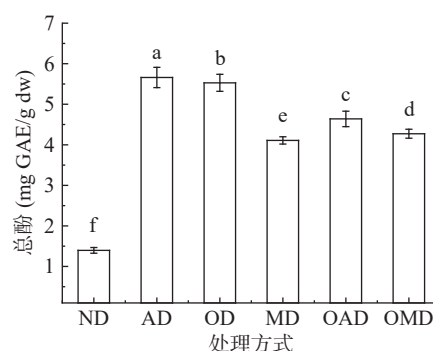


图5 不同干燥方式的苹果蟠桃纸的总酚含量结果

Fig.5 Total phenol content of apple-peach flat leather processed by different drying methods

总酚含量的差异性可能取决于加热系统的加热强度和持续时间^[35]。经过干燥处理的苹果蟠桃纸的总酚含量高于新鲜果泥, 这可能是因为高温使氧化酶和水解酶失活, 从而避免了总酚含量的损失, 或者由于美拉德反应, 在苹果蟠桃纸干燥过程中会引起褐变反应并产生更多的酚类化合物^[36]。Alkaltham等^[37]表明高温环境下水果中酚类化合物的热降解, 促进总多酚含量的增加, 建议使用短时间高温加热保护产品中的酚类化合物。Chen等^[36]也表明低温下多酚的酶促降解比热降解更显著, 温度高于60℃会增加多酚含量。本研究与Papoutsis等^[38]的研究结果类似, 110℃热风干燥的柠檬渣具有最高的总酚含量。这些结果可能是由于热量释放了一些酚类和黄酮类化合物, 以及高温环境中多酚氧化酶活性降低。

2.7 不同干燥方式对苹果蟠桃纸DPPH自由基清除率和总还原能力 (FRAP) 的影响

通过DPPH自由基清除能力和FRAP法评估苹果蟠桃纸的抗氧化能力。苹果蟠桃纸的DPPH自由基清除能力受不同干燥方法的影响。如图6, 观察到烘箱热风干燥的苹果蟠桃纸具有最高值的DPPH自由基清除能力和抗氧化能力, 这可能是由于高温环境可以促进具有抗氧化活性的新化合物(美拉德反应的产物)的形成, 增强各种浓度的酚类化合物的高氢原子供体能力, 提高了样品的DPPH自由基清除能力^[39]。

抗氧化活性的增加可能归因于水果在熬煮过程中细胞裂解,从细胞基质中释放出有助于抗氧化活性的细胞成分^[10]。抗氧化活性的增加也可以通过美拉德反应来解释,与原始样品相比,美拉德褐变反应显著增强了产品的抗氧化活性($P<0.05$)。其中,烘箱热风干燥样品的 FRAP 抗氧化能力由初始值 0.12 mmol Trolox/g dw 升高到 0.32 mmol Trolox/g dw,烤箱干燥的样品则升高至 0.31 mmol Trolox/g dw。不同干燥方式样品的抗氧化能力呈现不同程度的增高,这可能是因为样品发生褐变反应,有大量非酶褐变初级产物生成,这与上述结果中烘箱热风干燥和烤箱干燥的样品褐变度较高一致;此外,烘箱和烤箱的高温环境中,随着水分的减少,酚类物质会与果肉中的蛋白质和糖类发生缩合反应,向结合酚转化,总酚含量显著上升($P<0.05$),导致其抗氧化能力显著增高($P<0.05$)。不同干燥方式的样品的 FRAP 抗氧化能力和总酚含量的变化趋势相同,这是因为总酚是抗氧化能力的主要贡献者,两者的相关性强^[30,40]。有研究表明总酚含量与抗氧化活性呈正相关,如在 Chong 等^[30]的研究中发现苹果的总酚与抗氧化活性之间的相关性为 0.987, Alkaltham 等^[40]发现干燥处理后桃干中的酚类化合物含量增加、抗氧化活性增强。

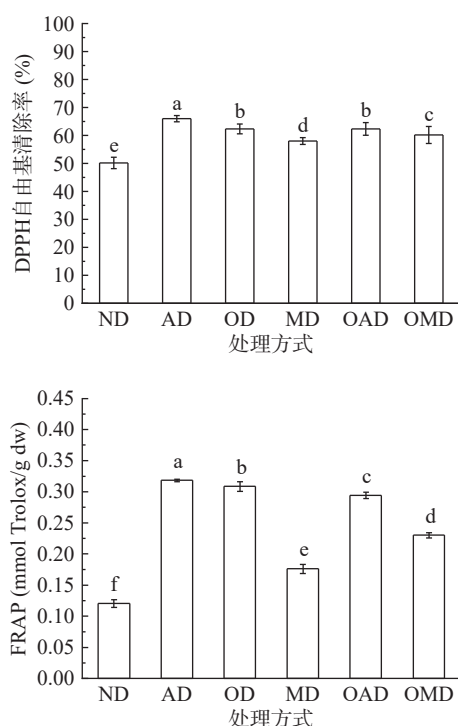


图 6 不同干燥方式的苹果蟠桃纸的 DPPH 自由基清除率和总还原能力

Fig.6 Total phenol content of apple-peach flat leather processed by different drying methods

3 讨论与结论

在本次研究中,采用五种干燥方式(烘箱热风干燥、烤箱干燥、微波炉干燥、烤箱-烘箱联合干燥和烤箱-微波炉联合干燥)制备苹果蟠桃纸,考察不同干燥方式制备的苹果蟠桃纸在感官评定、质构、色泽、褐

变度、总酚类含量、维生素 C 含量、抗氧化活性等方面的差异。烘箱热风干燥和烤箱干燥本质上的差别是有无热空气流动,在本次研究中,这两种干燥方式对产品的色泽、质构、总多酚和抗氧化活性的影响存在差异,烘箱热风干燥后的产品整体优于烤箱干燥。在烘箱循环热风干燥和无鼓风烤箱干燥过程的长时间高温加热环境中,水果纸发生了美拉德反应,这对水果纸特有的风味、色泽和口感具有积极影响。感官评定人员对烘箱热风干燥的产品的形态和口感是最满意的,其外观整齐,酸甜适中,具有一定嚼劲,带有苹果和蟠桃特有的香气。对于营养物质,烘箱热风干燥比微波炉干燥的产品含有更高的酚类化合物,具有更强的抗氧化能力。与传统干燥相比,微波干燥能减少干燥时间并能提高干燥产品的质量。但是,微波场的不均匀性会导致产品的加热程度不均匀和色泽不均匀,此外,微波干燥环境过热通常会导致烧焦和产生异味。根据本研究的实验结果,尽管微波干燥的苹果蟠桃纸对维生素 C 的保留有促进作用,但是由于空气氧气浓度少、美拉德反应程度轻,苹果蟠桃纸的质地绵软、缺乏嚼劲,因此,微波炉干燥和烤箱-微波炉联合干燥不适合用于苹果蟠桃纸的脱水干燥中。因此,根据实验结果,建议苹果蟠桃纸生产中采用烘箱热风干燥。

参考文献

- [1] 张强强. 中国苹果生产布局演变与优势评价研究 [D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2021. [ZHANG Q Q. Research on apple production layout evolution and advantage evaluation in China [D]. Shaanxi: Northwest A&F University, 2021.]
- [2] 王力荣. 我国桃产业现状与发展建议 [J]. 中国果树, 2021, 224(10): 1-5. [WANG L R. Status quo and development suggestions of peach industry in China [J]. China Fruit Trees, 2021, 224(10): 1-5.]
- [3] 葛玉全, 李红锋, 王春燕, 等. 我国苹果产业现状及可持续发展建议 [J]. 现代食品, 2021, 8(11): 4-6. [GE Y Q, LI H F, WANG C Y, et al. Apple Industry status quo and sustainable development suggestions in China [J]. Modern Food, 2021, 8(11): 4-6.]
- [4] QUINTERO RUIZ N A, DEMARCHI S M, MASSOLO J F, et al. Evaluation of quality during storage of apple leather [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(2): 485-492.
- [5] CHANG S K, ALASALVAR C, SHAHIDI F. Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits [J]. Journal of Functional Foods, 2016, 21: 113-132.
- [6] BARMAN M, DAS A B, BADWAIK L S. Effect of xanthan gum, guar gum, and pectin on physicochemical, color, textural, sensory, and drying characteristics of kiwi fruit leather [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(5): e15478.
- [7] TYLEWICZ U, NOWACKA M, RYBAK K, et al. Design of healthy snack based on kiwifruit [J]. Molecules, 2020, 25(14): 3309.
- [8] YAO L Y, FAN L P, DUAN Z H. Effects of different packaging systems and storage temperatures on the physical and chemical quality of dried mango slices [J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 134: 110000.

- gy, 2020, 121: 108981.
- [9] DEMARCHI S M, RUIZ N A Q, CONCELLON A, et al. Effect of temperature on hot-air drying rate and on retention of antioxidant capacity in apple leathers[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2013, 91(C4): 310–318.
- [10] AHMED I, QAZI I M, JAMAL S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, 34: 29–43.
- [11] EYIZ V, TONTUL I, TURKER S. Effect of variety, drying methods and drying temperature on physical and chemical properties of hawthorn leather[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2020, 14(6): 3263–3269.
- [12] 倪震丹, 李剑. 苹果渣在制备果蔬纸中的应用以及一种果蔬纸的制备方法: 中国, CN109938239A[P]. 2019-06-28. NI Z D, LI Jian. Application of apple residue in preparing fruit and vegetable paper and a preparation method of fruit and vegetable paper: China, CN109938239A[P]. 2019-06-28.
- [13] 蔡路昀, 台瑞瑞, 周小敏, 等. 不同干燥方式下沙丁鱼干燥特性的比较[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(6): 19–25. [CAI L Y, TAI R R, ZHOU X M, et al. Comparison of drying characteristics of sardines under different drying methods[J]. *Food Industry Technology*, 2019, 40(6): 19–25.]
- [14] CONCHA-MEYER A A, D'IGNOTI V, SAEZ B, et al. Effect of storage on the physico-chemical and antioxidant properties of strawberry and kiwi leathers[J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(3): C569–577.
- [15] SUNA S. Effects of hot air, microwave and vacuum drying on drying characteristics and *in vitro* bioaccessibility of medlar fruit leather (pestil)[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2019, 28(5): 1465–1474.
- [16] 李启彭, 张福胜. 苹果营养成分及应用价值研究进展[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(1): 132–134. [LI Q P, ZHANG F S. Research progress of nutritional components and application value of apple[J]. *Zhejiang Agricultural Sciences*, 2017, 58(1): 132–134.]
- [17] SHENDE D, KOUR M, DATTA A K. Evaluation of sensory and physico-chemical properties of langra variety mango leather[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2020, 14(6): 3227–3237.
- [18] 赵阳安, 杨学织, 马坤, 等. 新型绿色可食用苦苣菜果蔬纸的研制[J]. *乡村科技*, 2018(17): 109–110. [ZHAO Y A, YANG X Z, MA K, et al. Development of a new type of green edible chicory vegetable paper[J]. *Rural Science and Technology*, 2018(17): 109–110.]
- [19] 邓亚军, 谭阳, 冯叙桥, 等. 新型加工食品果蔬纸研究进展[J]. *食品科学*, 2017, 38(21): 302–307. [DENG Y J, TAN Y, FENG X Q, et al. Research progress of new processed food fruit and vegetable paper[J]. *Food Science*, 2017, 38(21): 302–307.]
- [20] 姚隆洋. 芒果干燥过程品质变化及贮藏稳定性研究[D]. 浙江: 江南大学, 2020. [YAO L Y. Study on quality change and storage stability of mango during drying[D]. Zhejiang: Jiangnan University, 2020.]
- [21] WOJDYŁO A, FIGIEL A, LECH K, et al. Effect of convective and vacuum–microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2014, 7(3): 829–841.
- [22] 孙若琳. 脱水半干苹果片抗氧化性和色泽稳定性的研究[D]. 江苏: 扬州大学, 2015. [SUN R L. Study on antioxidant and color stability of dehydrated semi-dried apple slices[D]. Jiangsu: Yangzhou University, 2015.]
- [23] NY/T 2637-2014 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2014. [NY/T 2637-2014 Determination of soluble solids content in fruits and vegetables by refractometer[S]. Beijing: Ministry of Agriculture, PRC, 2014.]
- [24] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 12456-2021 食品安全国家标准 食品中总酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021. [National Health Commission, PRC; State Administration for Market Regulation. GB 12456-2021 National Standard for Food Safety-Determination of total acid in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2021.]
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.86-2016 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 12456-2021 Determination of ascorbic acid in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [26] 张利娟. 葡萄干的抗氧化特性及防褐变工艺研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013. [ZHANG L J. Study on antioxidant properties and anti-browning technology of raisins[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013.]
- [27] 曾庆帅. 荔枝果汁加工和贮藏过程中酚类物质及抗氧化活性的变化[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011. [CENG Q S. Changes of phenolic compounds and antioxidant activities in litchi juice during processing and storage[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.]
- [28] HUANG X G, HSIEH F H. Physical properties, sensory attributes, and consumer preference of pear fruit leather[J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70(3): E177–E186.
- [29] SARKAR T, SALAUDDIN M, CHOUDHURY T, et al. Spatial optimisation of mango leather production and colour estimation through conventional and novel digital image analysis technique[J]. *Spatial Information Research*, 2021, 29(4): 439–453.
- [30] CHONG C H, LAW C L, FIGIEL A, et al. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(4): 3889–3896.
- [31] PHAN A D T, ADIAMO O, AKTER S, et al. Effects of drying methods and maltodextrin on vitamin C and quality of terminalia ferdinandiana fruit powder, an emerging Australian functional food ingredient[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 101(12): 5132–5141.
- [32] DENG L Z, MUJUMDAR A S, ZHANG Q, et al. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes-a comprehensive review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, 59(9): 1589–1611.

1408–1432.

[33] AN N N, SUN W H, LI B Z, et al. Effect of different drying techniques on drying kinetics, nutritional components, antioxidant capacity, physical properties and microstructure of edamame[J]. Food Chemistry, 2021, 373(Pt B): 131412.

[34] SABLANI S S. Drying of fruits and vegetables: Retention of nutritional/functional quality[J]. [Drying Technology](#), 2006, 24(2): 123–135.

[35] AHMED I A M, AL JUHAIMI F, OZCAN M M, et al. A comparative study of bioactive compounds, antioxidant activity and phenolic compounds of melon (*Cucumis melo* L.) slices dehydrated by oven, microwave and infrared systems[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(7): e15605.

[36] CHEN Y G, MARTYNENKO A. Combination of hydrothermodynamic (HTD) processing and different drying methods for natural blueberry leather[J]. [Lwt-Food Science and Technology](#), 2018, 87: 470–477.

[37] ALKALTHAM M S, USLU N, ÖZCAN M M, et al. Effect of

drying process on oil, phenolic composition and antioxidant activity of avocado (cv.Hass) fruits harvested at two different maturity stages[J]. [LWT](#), 2021, 148: 111716.

[38] PAPOUTSIS K, PRISTIJONO P, GOLDING J B, et al. Effect of vacuum-drying, hot air-drying and freeze-drying on polyphenols and antioxidant capacity of lemon (*Citrus limon*) pomace aqueous extracts[J]. [International Journal of Food Science and Technology](#), 2017, 52(4): 880–887.

[39] AHMAD J, LANGRISH T A G. Optimisation of total phenolic acids extraction from mandarin peels using microwave energy: The importance of the Maillard reaction[J]. [Journal of Food Engineering](#), 2012, 109(1): 162–174.

[40] ALKALTHAM M S, SALAMATULLAH A M, OZCAN M M, et al. Influence of different drying methods on antioxidant activity, total phenol, and phenolic compounds of myrtle (*Myrtus communis* L.) fruits[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(4): e15308.