

不同加工方式对柿子脆片物理特性及营养品质的比较分析

唐小闲^{1,2}, 唐文称¹, 任爱清^{1,2}, 韦珍珍³, 陈振林^{1,2}, 段振华^{1,2*}

(1. 贺州学院食品与生物工程学院/食品科学与工程技术研究院, 广西贺州 542899)

(2. 广西康养食品科学与技术重点实验室, 广西贺州 542899) (3. 大连工业大学食品学院, 辽宁大连 116034)

摘要: 为探究不同加工方式对柿子脆片物理特性及营养品质的影响, 采用真空油炸、真空微波、压差膨化、微波干燥四种加工方式对柿子脆片进行加工, 并探讨不同加工方式对柿子脆片色泽、硬度、脆度、复水比、体积、微观结构及总糖、总酸、维生素 C 和蛋白质等的影响。研究表明四种不同加工方式对柿子脆片物理特性及营养品质影响显著 ($p < 0.05$)。物理特性方面, 压差膨化干燥整体色泽呈亮黄色, 结构疏松, 硬度适中, 脆度最好, 口感酥脆, 复水性较好。营养品质方面, 压差膨化干燥柿子片总糖含量 (18.91%)、维生素 C 含量 (129.80 mg/100 g) 均优于其他三种加工方式, 蛋白质含量 (2.17%) 和总酸含量 (1.16%) 较低, 但比蛋白质含量最高的真空微波干燥仅少 0.12%, 比总酸含量最高的微波干燥仅少 0.74%。综合分析, 压差膨化干燥优于其他三种加工方式, 是柿子脆片加工的首选方式。

关键词: 加工方法; 柿子; 脆片; 营养成分; 品质

文章编号: 1673-9078(2022)11-185-191

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.11.0022

Comparative Analysis s of Physical Characteristics and Nutritional

Quality of Persimmon Chips Prepared Using Different Processing Methods

TANG Xiaoxian^{1,2}, TANG Wencheng¹, REN Aiqing^{1,2}, WEI Zhenzhen³, CHEN Zhenlin^{1,2}, DUAN Zhenhua^{1,2*}

(1. College of Food and Biological Engineer/Institute of Food Science and Engineering Technology, Hezhou University, Hezhou 542899, China) (2. Guangxi Key Laboratory of Health Care Food Science and Technology, Hezhou 542899, China) (3. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: The effects of four processing methods vacuum frying, vacuum microwaving, differential pressure expansion, and microwave drying on the physical characteristics and nutritional quality of persimmon chips were investigated. The effects of these processing methods on the color, hardness, brittleness, rehydration ratio, volume, microstructure, and total sugar, total acid, vitamin C, and protein contents of persimmon chips are discussed herein. The physical properties and nutritional quality of the persimmon chips were significantly affected by the four processing methods ($p < 0.05$). The overall color of chips prepared using differential pressure expansion drying was bright yellow; the structure was loose, the hardness was moderate, the brittleness was the best, the taste was crisp, and the rehydration was the best. The total sugar (18.91%) and vitamin C (129.80 mg/100 g) contents were better than those of chips processed using the other three methods. The protein content (2.17%) and total acid content (1.16%) were lower than those obtained using the other methods; however, the protein content was only 0.12% less than that after vacuum microwave drying (the highest protein content obtained), and the total acid content was only 0.74% less than that

引文格式:

唐小闲,唐文称,任爱清,等.不同加工方式对柿子脆片物理特性及营养品质的比较分析[J].现代食品科技,2022,38(11):185-191

TANG Xiaoxian, TANG Wencheng, REN Aiqing, et al. Comparative analysis s of physical characteristics and nutritional quality of persimmon chips prepared using different processing methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(11): 185-191

收稿日期: 2022-01-07

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32160581); 广西自然科学基金面上项目 (2020GXNSFAA259012); 广西自然科学基金项目 (2022GXNSFBA035605); 广西高校中青年教师基础能力提升项目 (2019KY0719)

作者简介: 唐小闲 (1984-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: tangxiaoxian2016@163.com

通讯作者: 段振华(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 现代食品加工新技术, E-mail: dzh65@126.com

after microwave drying (the highest total acid content obtained). Comprehensive analysis showed that differential pressure expansion drying is superior to the other three processing methods and should be the first choice for processing persimmon chips.

Key words: processing methods; persimmon; crispy; nutritional components; quality

柿, 属柿科 (*Ebenaceae*)、柿属 (*Diospyros L. f.*), 落叶乔木^[1]。柿果实具有非常高的食用价值^[2], 富含多种营养物质, 如糖、蛋白质、矿质元素、多种维生素、单宁、瓜氨酸、总酚、黄酮化合物等活性物质^[3,4], 除此, 柿子药用价值较高, 具有润肺健脾、止血充饥、降低胆固醇、解酒、杀疮、疗痔、治反胃的作用^[5,6], 据 FAO 统计^[7], 2018 年, 柿子在中国的栽培面积约为 $9.82 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 年产量约为 $4.22 \times 10^6 \text{ t}$, 分别占世界总栽培面积和总产量的 92.7% 和 76%。我国作为柿树种植及鲜柿产量超级大国, 柿子加工制品主要集中在柿饼、柿子粉、柿子酒和柿子醋、单宁产品, 但我国柿子深加工利用比例不足总产量的 10%, 现有柿果果品加工程度极低, 产品技术含量低, 贸易金额不足全球贸易金额的 3%^[8]。

干燥脱水是食品保藏和果蔬加工的常见方式, 被广泛应用在食品工业生产领域。目前关于柿子干燥已有一定的研究, Safe 等^[9]是比较不同干燥方式对柿子粉生物活性和理化性质的影响; Senadeera 等^[10]研究热风干燥柿片在温度 45~65 °C 的干燥条件下, Quadratic 模型能较好反映柿片在干燥过程中体积收缩比与水分比的变化规律, 干燥温度为 65 °C 时, 更有利于降低柿片褐变程度; Romild 等^[11]采用对流干燥方法 (Osmo-Convective Drying) 研究柿子干燥动力学的数学模型, 其试验主要是物料经过渗透混合脱水后采用空气循环烘箱进行对流干燥, 试验发现 Midilli 模型比较适合对干燥方法进行描述; 盘喻颜等^[12]研究柿子片在微波间歇干燥过程中的水分变化规律和干燥效果; Zhao 等^[13]研究了热风干燥温度对柿片营养成分、抗氧化活性、微观结构的影响, 且发现冷冻干燥与热风干燥相比, 柿子生物活性化合物的保留率更高。张鲜桃等^[14]用热风干燥方法制备柿子脆片, 并对比去皮与带皮柿子脆片品质特性, 研究发现去皮柿子脆片干燥效率更高, 色泽较好, 感官评分最高。果蔬脆片作为一种休闲食品, 深受年轻群体热烈追捧, 近年发展势头突出, 出口增长较快, 目前关于柿子脆片文献报道较少, 选用适合现代食品加工方式是突破现阶段我国加工产品多样化的必然趋势和途径^[15]。

本研究以柿子为原料, 采用真空微波干燥、采用压差膨化干燥、微波干燥、真空油炸加工方式处理柿子片, 探讨不同加工方式对柿子脆片营养成分以及品质影响, 旨在为柿子及其他果蔬脆片加工提供理论依

据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

柿子: 广西购买于贺州市泰兴超市; 盐酸, 深圳市鑫三和环保公司; 甲基红, 上海源叶生物科技有限公司; 乙醇, 山东普利斯有限公司; 盐酸、硫酸标准溶液, 海正化工有限公司; 硼酸, 山东淄博新川化工有限公司; 白陶土, 河北桓禾矿产品有限公司; 氢氧化钠、乙酸锌, 西陇科学股份有限公司; 亚铁氰化钾、酒石酸钾钠、酚酞、草酸、2,6-二氯靛酚溶液, 广东光华科技股份有限公司; 葡萄糖, 科隆化学品有限公司; 硫酸铜、硫酸钾, 广东化学试剂工程技术研发中心; 混合指示剂 A 或 B, 上海源叶生物科技; 以上试剂均为分析纯; L(+)-抗坏血酸 (标准品), 广东光华科技股份有限公司。

1.2 主要仪器

ZWH-KFY-BT4I 闭环除湿热泵干燥机, 东莞市正旭新能源设备科技有限公司; VF-40C 真空油炸机, 中山市维嘉真空机械厂; TYPE WBZ-10 微波真空干燥机, 贵阳新奇微波工业有限责任公司; KAAE 压差膨化干燥机, 江苏楷益智能科技有限公司; G70D20CN1P-D2 微波炉, 广东格兰仕微波生活电器制造有限公司; TA.XT PLUS 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; CR-400 色差计, 日本柯尼美能达; K9860 全自动凯氏定氮仪, 广州市鸿洲实验器材科技有限公司; QUANTA FEG 400 扫描电子显微镜, 美国 FEI 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 柿子片干燥

新鲜柿子, 湿基含水率约 81.85%, 削皮, 清洗, 切片厚度 (2 ± 0.50) mm, 每组柿子片称取 400 g, 干燥加工至物料湿基含水率 $\leq 5\%$ 终止。

(1) 微波干燥: 设置功率 210 W 干燥时间 8 min, 改用功率 70 W 干燥时间 54 min, 结束干燥。微波干燥过程中采用间隙工作形式, 即微波每加热 1 min 停止 30 s。

(2) 真空微波干燥: 真空度 0.95 MPa, 一段: 微波功率 2.00 kW、干燥时间 12 min, 二段: 微波功率

1.50 kW、干燥时间 II 4 min, 三段: 微波功率 0 kW、干燥时间 III 2 min, 四段: 微波功率 1.00 kW、干燥时间 IV 8 min, 五段: 微波功率 0.50 kW、干燥时间 V 12 min, 六段: 微波功率 0 kW、干燥时间 VI 2 min, 七段: 微波功率 0.30 kW、干燥时间 VII 40 min, 结束干燥。

(3) 压差膨化干燥: 先采用热泵预干燥, 干燥温度 65 ℃, 风速 4 m/s, 热泵干后含水率 25%±0.50% 转入变温压差膨化干燥; 压差干燥预热温度 85 ℃, 加压压力 480 kPa, 保压时间 10 min, 膨化时间 10 min, 干燥温度 I 为 85 ℃、干燥时间 I 为 30 min, 干燥温度 II 为 80 ℃、干燥时间 II 为 20 min, 结束干燥;

(4) 真空油炸: 采用热泵预干燥, 干燥温度 65 ℃, 风速 4 m/s, 热泵干燥后含水率 25%±0.5% 转入真空油炸, 真空度 0.095 kPa, 油炸温度 95 ℃, 脱油转速 300 r/min, 油炸 6 min, 脱油 3 min。

1.3.2 色泽测定

采用色差计 CR-400 测定柿子脆片表面的色泽, 测量样品 L^* 、 a^* 、 b^* 值和总色差 ΔE^* 。 L^* 值表示色泽明暗度, a^* 值表示红绿值, 数值越大越红。 b^* 值表示黄蓝值, 越大表示越黄。 ΔE 按式 (1) 计算^[16]:

$$\Delta E = \left[(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中:

ΔE^* ——总色差;

L_0^* , a_0^* , b_0^* ——新鲜柿子片色度值;

L^* , a^* , b^* ——干燥后柿子片色度值。

1.3.3 柿子脆片酥脆性测定

采用 TAXTPZUS 质构仪对样品硬度和脆度测定。将样品放置测试台上, 探头用 P50, 设置触发力 5.00 g, 测前速度 1.00 mm/s, 测中、后速度 2.00 mm/s, 测试距离 10 mm。测试结果, 硬度值以坐标图上最大压力峰值表示, 值越大表明硬度越大^[17]; 脆度以出现下压探头第一次冲向样品过程中坐标图上的第一个明显压力峰值表示, 值越小, 表明脆性越好^[18]。

1.3.4 复水比测定

参照文献的方法测定^[19]。

1.3.5 体积测定

用排米法测量体积: 将小米填满烧杯, 倒出一部分小米到量筒中 (倒出的小米体积大于柿子脆片体积), 柿子脆片置于烧杯中后用量筒的小米填满烧杯, 读出量筒剩余小米的体积, 按公式 (2) 计算:

$$V = V_1 - V_2 \quad (2)$$

式中:

V ——柿子片体积, mL;

V_1 ——柿子片与小米的总体积, mL;

V_2 ——小米体积, mL。

1.3.6 微观结构测定

采用美国 FEI 公司热场发射 QUANTA FEG 400 扫描电子显微镜对样品进行扫描观察, HV 20.00 kV, WD 8.00 mm, mag 200×, HFW 1.49 mm。二次电子分辨率 (SE) 像, 高真空模式 1.00 nm@15 kV; 放大倍率 200 倍, 500 μm。

1.3.7 总糖测定

采用苯酚-硫酸比色法^[20]。

1.3.8 总酸测定

按照 GB/T 12456-2008 标准进行测定。

1.3.9 维生素测定

按照 GB 5009.86-2016 标准中 2,6-二氯酚酚滴定法进行测定。

1.3.10 蛋白质测定

按照 GB 5009.5-2016 标准进行测定。

1.4 数据处理

采用 SPSS 26.0 软件进行差异显著性分析, Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 加工方式对柿子脆片色泽影响

色泽对于干制品来说是一个重要的感官品质^[21], 食品脱水过程中发生的美拉德反应、焦糖化反应、肥美反应会影响颜色变化^[22], 样品 ΔE^* 值越小, 说明加工过程对色泽改变越小。由表 1 知, 不同干燥方式干燥柿子脆片的色泽差异显著 ($p < 0.05$), L^* 值表示样品的亮度值, 其值越大明亮越高。真空微波干燥 L^* 值最大, 其次为鲜样, 微波干燥最小, 原因是微波干燥容易发生边角效应, 受热不均匀, 样品局部组织易发生焦化, 样品颜色较暗, L^* 值较低。真空微波干燥 a^* 值与鲜样较接近 ($p > 0.05$), 压差膨化干燥的最大, 微波干燥的最小; 压差膨化干燥的 b^* 值与鲜样差异不显著 ($p > 0.05$), 真空油炸的与鲜样及其他加工方式差异显著 ($p < 0.05$); 样品色差 ΔE^* 值大小为真空油炸干燥 > 微波干燥 > 压差膨化干燥 > 真空微波干燥, 真空油炸色差 ΔE^* 值最大, 压差膨化干燥、真空微波干燥与鲜样较近, 这两种方式加工的柿子脆片整体色泽保持较好, 呈现亮黄色, 总体上真空微波干燥的色泽更好。

表 1 不同加工方式对柿子脆片色泽的影响

Table 1 Effects of different processing methods on the color of persimmon crisp slices

样品	L*	a*	b*	△E
鲜样	61.21±2.37 ^b	7.83±0.47 ^c	38.98±2.49 ^d	57.30±2.24 ^{cd}
真空油炸	60.16±2.15 ^b	8.98±0.06 ^b	51.37±2.35 ^a	66.58±4.30 ^a
压差膨化干燥	54.40±0.90 ^c	11.44±1.08 ^a	37.14±0.86 ^d	60.83±1.63 ^{bc}
真空微波干燥	69.04±2.71 ^a	7.82±0.32 ^c	46.94±2.54 ^b	55.36±3.20 ^d
微波干燥	50.84±1.38 ^d	6.77±0.48 ^d	43.36±1.90 ^c	63.07±3.85 ^{ab}

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

2.2 干燥方式对柿子脆片微观结构影响

由图 1 可知，通过 SEM 观察柿子脆片，证实了不同加工方式处理后柿子脆片组织微观结构有显著差异。压差膨化干燥柿子片组织结构疏松，呈现蜂窝状结构，其孔隙、孔腔和孔径大小不均匀，膨化效果较好，原因是压差膨化干燥过程中，由于环境从常压状态瞬时变为负压状态，柿子片中水分瞬间汽化抽出，在膨胀力的作用下，物料膨化形成多孔蜂窝状结构；真空微波干燥柿子片也具有膨化效果，但与前者相比孔隙较少，孔隙形状不规则，表面结构塌陷、褶皱形成窝沟，窝沟深浅、大小不均匀；真空油炸柿子片呈现出多孔结构，孔隙被油脂填满，表面形成光滑的油脂膜，原因是油炸方式使物料组织发生膨胀形成大量孔隙，孔隙体积空间增加物料油脂吸收，高含油量食品对人体健康带来不利；微波干燥也起到膨化作用，微波干燥柿子片孔隙分布不均匀，大小不规则，由于微波干燥过程，细胞受热后迅速脱水，造成细胞收缩和毛细管萎缩变形，部分孔隙塌陷，除此，样品有不规实心柱型条状物，条状物增加了样品坚硬程度，口感偏硬。

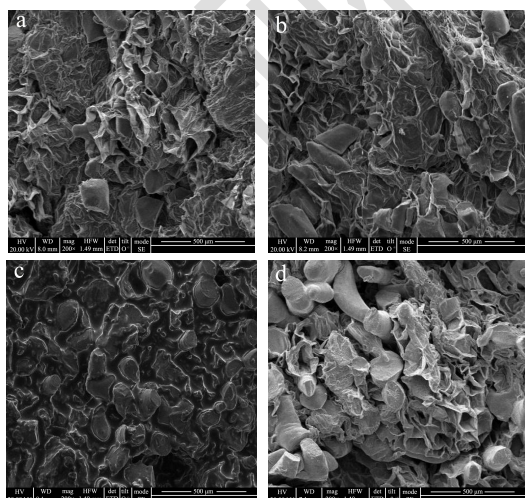


图 1 不同加工方式柿子脆片电镜扫描图 (200×)

Fig.1 Scanning electron microscope of persimmon crisp (200×)

注：a 压差膨化干燥；b 真空微波干燥；c 真空油炸；d 微波干燥。

2.3 加工方式对柿子脆片硬度、脆度的影响

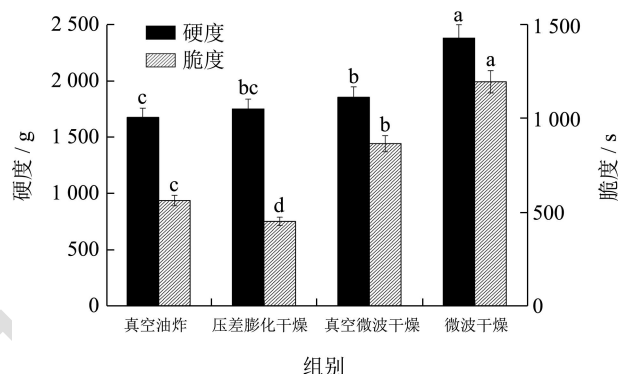


图 2 不同加工方式对柿子脆片硬度、脆度的影响

Fig.2 Effect of different processing methods on hardness and crispness of persimmon crisp

注：不同小写字母表示差异显著 $p < 0.05$ ，以下图相同。

硬度和脆度是反映果蔬脆片口感一个重要指标，不同干燥过程对果蔬质构的影响不同^[23]。由图 2 可知，柿子片经过不同加工方式处理后，样品硬度大小排序为微波干燥 (2 379.82 g) > 真空微波干燥 (1 853.47 g) > 压差膨化干燥 (1 750.23 g) > 真空油炸 (1 675.20 g)，脆度值大小为压差膨化干燥 (450.93 g) < 真空油炸 (561.57 g) < 真空微波干燥 (865.39 g) < 微波干燥 (1 195.38 g)。脆度与样品的微观结构密切相关，具有更多孔隙结构的样品脆性更高^[24]。柿子片压差膨化干燥过程中，物料中水分在压力、温度变化作用下瞬间汽化蒸发损失大部分，气体膨胀带动物料组织中物质结构变性并产生膨化作用，物料形成多孔蜂窝状结构，硬度适中，酥脆性最好，这与谢加豪^[25]研究朝阳大平顶枣干燥的结论相一致。柿子片在真空油炸过程以热油为媒介，借助压力差作用，促进物料中分子运动、气体扩散与抽出，提高加工速度和脱气效率，使得物料内水分能在短时间内迅速蒸发，同时，物料组织因外部压力较低而产生良好的膨化疏松作用，形成多孔海绵状结构^[26]，硬度值最小，酥脆性仅次于压差膨化干燥。柿子片真空微波干燥采用多段式微波干燥，功率由大到小变化，干燥前期将物料自由水、半结合水

分快速去除,干燥后期将半结合水、结合水缓慢去除,干燥过程水分扩散迁移使物料结构发生改变起一定膨化效果,脆度值和硬度值高于前两种干燥方式。微波干燥的样品脆度值和硬度值最高,口感偏硬,原因可能是微波干燥受热不均匀,局部温度过高,糖类物质受热形成一层硬壳,硬度最大。

2.4 加工方式对柿子脆片复水性及体积影响

复水比反映新鲜食品干制后能重新吸回水分的程度,是衡量果蔬脆片疏松程度的一项重要指标^[27],复水比值越大表示其复水性越好。由图3可知,经不同加工方式处理的柿子片后,压差膨化干燥复水比与真空油炸不显著($p>0.05$),分别为4.95和4.76,复水性能较好;真空微波干燥次之,为3.99;微波干燥最小,为3.79,复水性相对较弱。柿子脆片体积存在差异显著($p<0.05$),体积大小依次为压差膨化干燥、真空油炸、真空微波干燥、微波干燥。原因经过压差膨化干燥柿子片具有多疏松结构,有效控制了脆片的皱缩,体积最大,复水性最好,Li等^[28]通过压差膨化干燥苹果丁进行干燥,发现压差膨化干燥对苹果丁体积具有显著的膨大作用;真空油炸柿子片也具有多疏松结构,体积较大;柿子脆片微波干燥受热不均匀,以致局部结构萎缩变形,孔隙塌陷,复水能力差^[29],真空微波干燥,干燥不均匀^[30],但物料在真空状态、较低温度条件下进行干燥,复水性能和疏松程度高于微波干燥低于另外两种干燥方式。

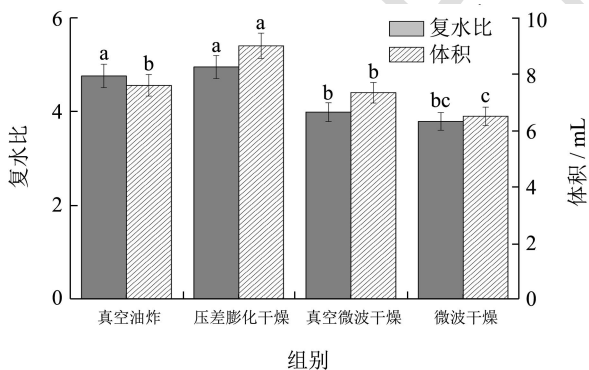


图3 不同加工方式对柿子脆片复水性及体积的影响

Fig.3 Effects of different processing methods on rehydration and volume of persimmon crisp

2.5 加工方式对柿子脆片总糖及总酸含量的影响

由图4可知,柿子片经过不同加工方式处理后,微波干燥总糖含量与其他三种加工方式差异显著($p<0.05$),总糖含量最小,为17.70%,压差膨化干燥与真空油炸、真空微波相比总糖量稍高,为18.91%。干燥加工过程物料中糖组分相互转化与分解,以及糖

类物质发生美拉德反应,均会导致总糖含量降低。微波干燥在有氧气环境进行,且受热均匀性较差,局部温度过热,美拉德反应严重,导致总类物质损失,糖含量降低。其他三种干燥方式在真空度较高条件下,减少美拉德反应的进行,使得总糖含量损失减少。样品总酸含量由高到低顺序依次为微波干燥、真空油炸干燥、压差膨化干燥、真空微波干燥,四种加工方式的总酸差异显著($p<0.05$),真空微波干燥的总酸最小,微波干燥的总酸最高。原因可能是微波干燥过程,柿子片内部发生美拉德反应,随着反应继续进行,Strecker降解产生乙酸等有机酸,同时消耗了氨基酸中碱性基团,从而使得柿子片中总酸含量提高^[31]。

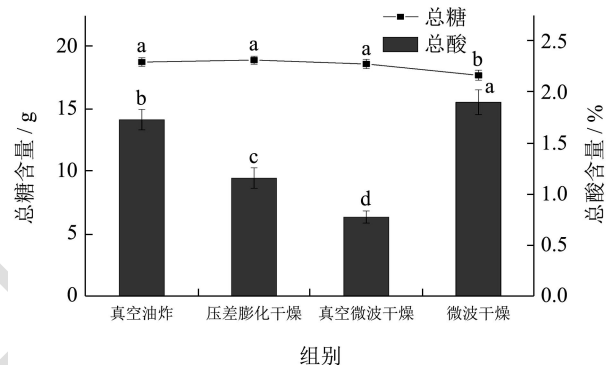


图4 不同加工方式对柿子脆片总糖、总酸的影响

Fig.4 Effects of different processing methods on total sugar and total acid of persimmon crisp

2.6 加工方式对柿子脆片维生素C及蛋白质影响

维生素C是人体内一种必需的营养素,维生素C含量是评价果蔬产品的一项重要指标。维生素C具极不稳定的营养物质,对光、热、氧气较敏感,易反应分解^[32]。由图5可知,柿子片经不同加工方式处理后,压差膨化干燥的维生素C含量最高,为129.80 mg/100 g,真空微波干燥的次之,为121.00 mg/100 g,微波干燥和真空油炸较低,分别为116.30 mg/100 g和113.70 mg/100 g。真空油炸柿子片是在油温95℃下进行,处理温度过热导致维生素C分解,不利于维生素C保留;微波干燥柿子片是在有氧环境里进行,也不利于维生素C保留;压差膨化干燥加工方式能较好的保存维生素C,于静静等^[33]在研究红枣干燥时,同样发现通过变温压差膨化干燥保存红枣维生素C较好。不同加工方式处理柿子片后,样品蛋白质含量差异显著($p<0.05$),为真空微波干燥(2.29%)>压差膨化干燥(2.17%)>真空油炸(1.99%)>微波干燥(1.91%)。这可能是微波干燥过程中,柿子片中蛋白质因为氧气环境因素影响发生酶促氧化反应,也可能受热氧化与其他酸性或碱性成分发生反应,造成蛋白质损失^[19];而其他三种方式加

工过程在真空条件下进行, 样品蛋白质保留较好。

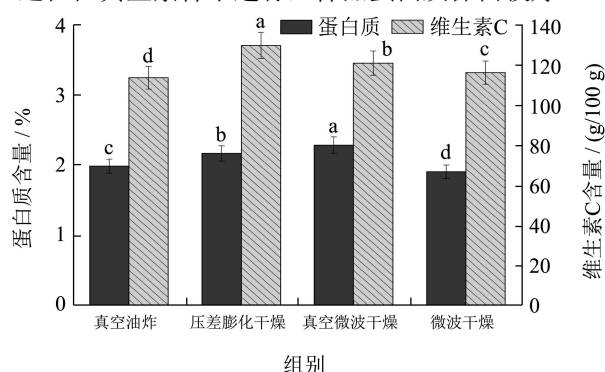


图5 不同加工方式对柿子脆片蛋白质、维生素C的影响

Fig.5 Effects of different processing methods on protein and vitamin C of persimmon crisp

3 结论

压差膨化干燥、真空油炸、真空微波干燥、微波干燥四种不同加工方式对柿子脆片物理特性及营养品质影响显著 ($p < 0.05$)。

柿子脆片物理特性方面, 微波干燥整体色泽较暗, 口感偏硬, 缺乏脆度, 品质最差; 真空油炸和真空微波干燥居中, 压差膨化干燥整体色泽呈亮黄色, 结构疏松, 硬度 (1 750.23 g) 适中, 脆度 (450.93 g)、复水性 (复水比 4.95) 最好。

柿子脆片营养品质方面, 压差膨化干燥柿子脆片总糖含量 (18.91%)、维生素C含量 (129.80 mg/100 g) 均优于真空油炸、真空微波干燥、微波干燥三种加工方式, 虽然蛋白质含量 (2.17%) 和总酸含量 (1.16%) 较低, 但比蛋白质含量最高的真空微波干燥仅少 0.12%, 比总酸含量最高的微波干燥仅少 0.74%。

综合比较, 压差膨化干燥优于其他三种加工方式, 是柿子脆片加工的首选方式。本试验仅仅就不同加工方式对柿子脆片主要物理特性及营养品质作了比较分析, 而柿子脆片抗氧化活性及货架期品质方面的比较未涉及, 有待进一步研究。

参考文献

[1] 覃焱婷,段振华,韦珍珍,等.柿子干燥技术的研究进展[J].食品科技,2020,45(12):53-58

[2] Liang Y Q, Han W J, Sun P, et al. Genetic diversity among germplasm of *Diospyros kaki* based on SSR markers [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 186: 180-189

[3] 施宝珠,段旭昌,吴烨婷,等.自控热泵臭氧杀菌柿饼干燥房建设与柿饼生产技术[J].食品工业,2017,38(2):141-145

[4] Qi Y W, Liu X S, Zhang Q, et al. Carotenoid accumulation and gene expression in fruit skins of three differently colored

persimmon cultivars during fruit growth and ripening [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 248: 282-290

[5] Akman P K, Tornuk F, Toker O S. Fruits as carrier for probiotic bacteria: survival of *Lactobacillus paracasei* and *Lactobacillus GG* in persimmon fruit [J]. Journal of Biotechnology, 2018, 280: S63-

[6] González C M, García A L, Llorca E, et al. Carotenoids in dehydrated persimmon: Antioxidant activity, structure, and photoluminescence [J]. LWT, 2021, 142: 111007

[7] Mir-Marqués A, Domingo A, Cervera M L, et al. Mineral profile of kaki fruits (*Diospyros kaki* L.) [J]. Food Chemistry, 2015, 172: 291-297

[8] 陈超锋.柿饼干燥中脱水脱涩及无损检测技术研究[D].南宁:广西大学,2019

[9] Safa Karaman, Omer Said Toker, Mustafa Çam, et al. Bioactive and physicochemical properties of persimmon as affected by drying methods [J]. Drying Technology an International Journal, 2014, 32: 258-267

[10] Senadeera W, Adiletta G, Önal B, et al. Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices [J]. Foods, 2020, 9(1): 101

[11] Sampaio R M, Neto J P M, Perez V H, et al. Mathematical modeling of drying kinetics of persimmon fruits (*Diospyros kaki* cv. Fuyu) [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(1): 12789

[12] 盘喻颜,段振华,钟静妮.利用低场核磁共振技术分析月柿果片微波间歇干燥过程中的内部水分变化[J].食品工业科技, 2021,42(14):33-39

[13] Zhao C C, Ameer K, Eun J B. Effects of various drying conditions and methods on drying kinetics and retention of bioactive compounds in sliced persimmon [J]. LWT, 2021, 143: 111149

[14] 张鲜桃,陈晓彤,李喜宏,等.柿子表皮对柿子干脆片品质的影响[J].食品科技,2019,44(8):73-76

[15] 黄隆胜,刘军,龚丽,等.柿饼热泵干制工艺试验研究[J].现代农业装备,2017,4:17-19

[16] 姚隆洋.芒果干燥过程品质变化及贮藏稳定性研究[D].无锡:江南大学,2020

[17] Saengrayap R, Tansakul A, Mittal G S. Effect of far-infrared radiation assisted microwave-vacuum drying on drying characteristics and quality of red chilli [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(5): 2610-2621

[18] 唐小闲,罗艳昕,任爱清,等.响应面法优化慈姑脆片微波加工工艺[J].食品工业科技,2020,41(12):144-149

[19] 刘艳红,熊张平,季春艳,等.干燥方式对太和香椿芽品质的影

- 响[J].食品与机械,2020,36(9):201-206
- [20] 陈佳歆.柿片热泵干燥特性与贮藏期褐变机制研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2019
- [21] Chen Q, Li Z, Bi J, et al. Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 80: 178-184
- [22] 苏雅.微波及其协同对真空油炸马铃薯片加工效率与品质影响及机理研究[D].无锡:江南大学,2018
- [23] Huang L, Zhang M, Wang L, et al. Influence of combination drying methods on composition, texture, aroma and microstructure of apple slices [J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 47(1): 183-188
- [24] Yi J Y, Lyu J, Bi J F, et al. Hot air drying and freeze drying pre-treatments coupled to explosion puffing drying in terms of quality attributes of mango, pitaya, and papaya fruit chips [J]. Journal of Engineering, 2018: 13300
- [25] 谢加豪.不同干燥方式对朝阳大平顶枣品质的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2020
- [26] 张俊艳.真空油炸技术在食品加工中的应用[J].食品研究与开发,2013,34(10):129-132
- [27] 汤石生,马道宽,刘军,等.三种不同预处理的冻干苹果片品质比较[J].现代食品科技,2021,37(7):169-175
- [28] Li X, Bi J, Chen Q, et al. Texture improvement and deformation inhibition of hot air-dried apple cubes via osmotic pretreatment coupled with instant control pressure drop (DIC) - Science Direct [J]. LWT, 2019, 101(C): 351-359
- [29] Horuz E, Bozkurt H, Karataş H, et al. Effects of hybrid (microwave-convective) and convective drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries [J]. Food Chemistry, 2017, 230(SEP.1): 295-305
- [30] Polat A, Taskin O, Izli N, et al. Continuous and intermittent microwave-vacuum drying of apple: Drying kinetics, protein, mineral content, and color [J]. Journal of Food Process Engineering, 2019, 42(3): 1-7
- [31] 王浩,张明,王兆升,等.不同干燥方式对灰枣片感官及营养品质的影响[J].食品科技,2019,44(6):102-107
- [32] 高伟,丁胜华,王蓉蓉,等.不同干燥方式对柠檬片品质的影响[J].食品科技,2017,42(2):114-119
- [33] 于静静,毕金峰,丁媛媛.不同干燥方式对红枣品质特性的影响[J].现代食品科技,2011,27(6):610-614,672