

添加果皮对真空冷冻干燥重组芒果和火龙果脆片品质的影响

郭玉霞, 毕金峰, 易建勇*, 李旋, 冯舒涵

(中国农业科学院农产品加工研究所 农业农村部农产品加工综合性重点实验室 北京 100193)

摘要 芒果皮、火龙果皮富含膳食纤维和多酚物质,然而加工中未被有效利用,造成资源浪费。基于真空冷冻干燥的重组果蔬脆片加工,为果皮资源高效利用提供了可行途径。本研究以芒果和火龙果为典型对象,研究果肉和果皮物质组分差异,探讨添加果皮对真空冷冻干燥重组芒果和火龙果脆片质构、色泽、风味等感官品质以及总酚、蛋白质、抗氧化等营养品质的影响。结果表明,与未添加果皮对照样品相比,添加芒果皮使脆片硬度提高 56.36%以上,微观孔隙结构更致密;添加果皮火龙果脆片脆、硬度与对照无显著差异($P>0.05$),微观孔隙数量增多,孔径减小。添加果皮后,火龙果脆片抗氧化性提高 18.43%~74.17%;芒果脆片总酚提高 0.01~0.25 倍。感官评价结果:添加果皮的两种重组脆片综合品质与对照相比无显著差异,说明添加果皮的重组脆片工艺在保持核心感官品质和改善营养指标的前提下,显著提高芒果和火龙果资源利用率。

关键词 芒果皮; 火龙果皮; 真空冷冻干燥; 重组果蔬脆片; 质构; 感官品质

文章编号 1009-7848(2022)03-0178-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.03.021

芒果属于漆树科 (Anacardiaceae) 芒果属 (*Mangifera indica* L.) 的多年生木本植物,是我国产量仅次于香蕉的第二大热带水果,2017 年我国产量达到 494 万 t,占全球总产量的 8.9%^[1-2]。火龙果 (*Hylocereus undatus*) 属仙人掌科三角柱属植物的果实,是亚洲第五大热带水果,年产量达 120.5 万 t。随着芒果和火龙果种植面积和产量的不断扩大,加工成为解决果实集中成熟期间原料堆积,以及延长产业销售周期,提高产品附加值的重要手段。然而,无论是制汁、制干还是制作果酱等,加工过程都会产生大量的果皮。芒果和火龙果果皮分别占鲜果质量的 15%,25%左右,加工量按芒果和火龙果总产量的 20% 计算,每年将产生 14.82 万 t 和 6.0 万 t 的芒果和火龙果果皮,这些果皮目前主要用作饲料或直接堆肥,造成的资源浪费和环境污染成为行业的棘手问题。芒果皮富含多酚、类胡萝卜素、膳食纤维、维生素 E 和维生素 C 等营养物质,其中酚类物质含量达到 103.9 mg GAE/g FW^[3]。火龙果果皮富含甜菜红素,含量达 1.25 mg/g 干品,还富含植物白蛋白,具有降低胆固醇,防止心血管疾病的功效^[4]。将果皮作为辅料添加到食品

中,不仅可以提高资源利用率,还可以提高产品的膳食纤维、酚类等营养功能成分,是制造均衡营养食品的重要方式。例如,Mayo-Mayo 等^[5]和 Chen 等^[6]将芒果皮分别添加到玉米饼和面包中,以提高产品总酚和膳食纤维含量,控制血糖指数上升。Can-Cauich 等^[7]研究表明火龙果皮粉因富含多酚而具有作为功能性配料的潜力。

重组型果蔬脆片是将果蔬原料破碎后重新造型而成的果蔬脆片。一方面,重组工艺便于复合多种果蔬原料,通过利用不同果蔬原料的营养组分特性和外源添加特定营养素,重组果蔬脆片可作为开发个性化精准营养果蔬休闲食品的载体。另一方面,相比于天然果蔬脆片,重组型果蔬脆片对原料品种、形态、色泽等原料均一程度要求不高,超细打浆等技术也使得一些原本不可食用的部分得以利用,有利于实现资源高效利用,这为芒果皮、火龙果皮的高效利用提供一条有效途径。干燥是重组型食品常见的定型方式^[8-9],其中真空冷冻干燥 (Freeze-drying, FD) 技术通过将水分升华后保留物料原有的多孔微观结构,获得质地酥脆的果蔬脆片,并同时最大限度地保留热敏性营养功效组分。在多种物料混合重组过程中,果蔬原本有序的组织细胞结构被破坏,食品组分比例连带发生改变,弄清质构重组和组分重构对脆片品质的影响成为调控重组脆片品质的前提。

高分子生物聚合物,如麦芽糊精、天然竹纤

收稿日期: 2021-03-29

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020225006)

作者简介: 郭玉霞 (1998—), 女, 硕士生

通信作者: 易建勇 E-mail: yijianyong515@126.com

维、阿拉伯胶等通过空间位阻效应来延缓真空冷冻干燥过程中物料结构崩塌,提高结构稳定性^[10-12]。芒果皮和火龙果皮均含大量的细胞壁大分子,如纤维素、果胶和半纤维素等,将其添加到重组脆片中可能具有多种有益效果。例如:可改善脆片冻干过程中的质构稳定性,可提高产品膳食纤维、酚类物质含量,可解决果皮资源利用率低的问题。本研究分析芒果和火龙果果肉、果皮的基础化学组成,通过全果超细打浆和真空冷冻干燥制备质构重组芒果和火龙果脆片,分析添加果皮对重组脆片质构、色泽、风味等感官和营养品质的影响,为全果型果蔬脆片加工工艺提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“越南1号”火龙果和“台农”芒果(8~9成熟)购于北京幸福荣耀超市有限公司。芒果和火龙果果皮分别占鲜果的14%和26%。

岩藻糖(Fuc)、鼠李糖(Rha)、阿拉伯糖(Ara)、半乳糖(Gal)、葡萄糖(Glu)、木糖(Xyl)、半乳糖醛酸(GalA)标准品, Sigma-Aldrich 中国公司; 福林酚、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,4,6-三吡啶基均三嗪(2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine, TPTZ)、2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(2,2'-amino-bis(2-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS)、没食子酸标品, Sigma-Aldrich 中国公司; 苯酚、浓盐酸、无水乙醇、三氟乙酸, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 设备与仪器

BLK-0.5 真空冷冻干燥机, 江苏博莱客冷冻科技发展有限公司; ZX-015YTHG 高温热泵烘干机, 东莞市正旭新能源设备科技有限公司; HR1848 飞利浦榨汁机, 珠海经济特区飞利浦家庭电器有限公司; Lens Eye-NET Version1.5.5.0 电子眼色彩分析系统, 美国; Nikon D700 数码相机, 尼康 Nikon 公司; VolScan Profiler 300 食品体积测定仪, 英国 Stable Micro System 公司; TA.HD plus 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; DSC 8000 差示量热扫描仪, 美国 PE 公司; S-570 扫描电子显微镜, 日本日立公司; YC-80 旋转混匀仪,

杭州米欧仪器有限公司; ICS-3000 离子液相色谱, 美国戴安公司; AW1000T 水分活度测定仪, 昌琨实业有限公司。

1.3 方法

1.3.1 细胞壁多糖组分分级提取 将芒果和火龙果果肉和果皮切片并用 55 °C 热泵干燥至恒重, 干品打粉后与 70% 乙醇溶液(固液比=1:20)混合, 浸提 2 h 后抽滤, 不溶物用 70% 的乙醇冲洗, 35 °C 烘干至恒重得到醇不溶性物质 (Alcohol-insoluble Residue, AIR)^[13]。将以上抽滤液和乙醇洗涤液合并, 40 °C 旋转蒸发除去乙醇; 将浓缩液冻干至恒重, 得醇溶性物质 (Alcohol-soluble Residue, ASR)。

将得到的细胞壁物质 AIR 与 0.01 mol/L 稀盐酸溶液(固液比=1:40)混合, 调节混合液 pH 值至 2.0, 40 °C 水浴超声条件下浸提 2 h, 趁热抽滤, 滤饼用 85 °C 热水洗涤至中性条件, 冻干至恒重得到非水溶性纤维 (Insoluble Dietary Fiber, IDF)。以上滤液冻干至恒重得到水溶性纤维 (Soluble Dietary Fiber, SDF)。

1.3.2 样品制备 将芒果和火龙果分别进行全果打浆(芒果去核)和果肉打浆后, 注入硅胶模具(2.5 cm×2.5 cm×1.4 cm)中。在-80 °C 条件下预冻 24 h 后进行真空冷冻干燥, 其中冷阱温度为-40 °C, 真空度为 80 Pa, 一次干燥隔板温度为 10 °C, 二次干燥隔板温度为 15 °C, 三次为 20 °C, 最后隔板温度为 50 °C, 共干燥 30 h。

1.3.3 GalA 和中性糖组成测定 细胞壁多糖组分的 GalA 含量参照曹凤等^[14]的方法测定, 每个样品测量 3 次取平均值。

细胞壁多糖组分的中性糖测定参照 Yang 等^[15]的方法进行, 并稍作修改。称取约 10 mg 样品于水解管中, 加入 2 mol/L 的三氟乙酸 4 mL, 每个样品充氮 1 min 后于 120 °C 水解 1.5 h。冷却后氮吹吹干, 用去离子水复溶并定容至 10 mL, 稀释 5 倍后过 0.2 μm 滤膜后进样。分析柱为 CarboPac PA20, 流动相 A 为超纯水, 流动相 B、C 分别为 0.25 mol/L 氢氧化钠和 1 mol/L 醋酸钠, 流速为 0.5 mL/min, 进样体积为 10 μL, 柱温为 35 °C, 检测器为脉冲安培检测器。

通过糖比率可获得细胞壁果胶多糖的相关结

构信息,糖比率按如下公式计算^[16]:

$$R_1 = \text{GalA}/(\text{Fuc} + \text{Rha} + \text{Ara} + \text{Gal} + \text{Xyl}) \quad (1)$$

$$R_2 = \text{Rha}/\text{GalA} \quad (2)$$

$$R_3 = (\text{Ara} + \text{Gal})/\text{Rha} \quad (3)$$

式中, R_1 ——果胶主链糖 GalA 与侧链中性糖的比值,表示果胶多糖线性度; R_2 ——Rha 与 GalA 的比值,表示 RG 结构占整个果胶多糖的比例; R_3 ——RG-I 侧链单糖糖量与 Rha 的比值,表示 RG-I 支链程度。

1.3.4 色泽测定 参考 Hou 等^[17]的方法测定。样品色泽以 L 、 a 、 b 值表示。

1.3.5 质构 参考 Zhang 等^[18]的方法,并稍作修改。使用装有 P/0.25S 球形探头的物性测试仪对脆片进行穿刺测试。测试前、测试中和测试后速度分别为 1.0, 1.0, 2.0 mm/s。触发力和穿透距离分别为 5 g 和 30.0 mm。以穿刺过程中的最大力数值和峰个数分别定义为硬度“g”和脆度“个”。每个处理做 8 次重复后剔除一个最大值和最小值取平均值。

1.3.6 微观结构 通过扫描电镜观察样品自然横断面的微观结构。将样品掰断,横断面朝上,固定在扫描台的导电胶上。然后通过喷金,在低真空、设备工作电压 10 kV,工作距离 8~11.5 mm 条件下,放大 50 倍观察样品的微观结构。

1.3.7 营养品质测定 总糖采用苯酚-硫酸比色法测定。0.2 g 充分研磨的样品中加入 2 mL 浓度为 6 mol/L 的 HCL 溶液,加入 25 mL 蒸馏水。摇匀

后在 96 °C 水浴 2 h,冷却后加入 2 mL 浓度为 6 mol/L 的 NaOH 溶液,摇匀。10 000 r/min 4 °C 条件下离心 10 min,用水定容至 50 mL,得待测样品。标准曲线绘制和待测样品测定参考 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》中的方法测定^[19]。

蛋白含量根据 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的方法测定^[20]。

采用 Folin-Ciocalteu 方法测定总多酚含量,抗氧化性以 DPPH、ABTS 自由基清除能力和铁离子还原能力(FRAP)表示^[21]。

氨基酸根据 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》中的方法测定^[22]。

1.3.8 香气测定 采用电子鼻法进行测定。磨碎的脆片 1.0 g 置于 20 mL 顶空瓶中,用聚四氟乙烯隔垫密封瓶盖。将顶空瓶在常温下静置 30 min。测试时将针头通过隔垫插入样品瓶中,设置进样流量为 600 mL/min,响应信号检测时间为 60 s,由信号采集系统记录。试验重复 3 次,结果取平均值。对脆片香气数值进行主成分分析(Principal component analysis, PCA)。

1.3.9 感官评价 由 15 名食品专业人员组成感官评定小组,对脆片的外观、气味、质地、风味、总体可接受度进行评定,以上 5 因素满分各为 20 分,因此设定总分为 100 分。具体的感官评定标准如表 1。

表 1 脆片感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria of chips

	15~20 分	10~14 分	5~9 分	1~4 分
外观	色泽均一;片形完整、无碎屑	色泽较均一;片形较完整、有少量碎屑	色泽稍不均匀;片形完整度一般、碎屑较多	色泽不均匀;片形不完整、有大量碎屑
质地	脆硬度好、不黏牙、不黏手	脆硬度较好、稍黏牙、稍黏手	脆硬度一般、较黏牙、较黏手	太硬或太脆、非常黏牙、非常黏手
气味	具有鲜果特有的香味	具有鲜果特有的香味、但略淡	基本具有鲜果香味	无鲜果香味,或有异味
滋味	酸甜适中、滋味不腻	略甜或略酸、滋味不腻	较甜或较酸、较腻	非常甜或非常酸或没有滋味
总体可接受度	非常满意	较满意	较不满意	不满意

1.4 数据统计与分析

本试验采用 SPSS 19.0 进行数据分析,显著

性检验使用方差分析(ANOVA)和独立样本 T 检验进行差异显著性检验($P < 0.05$),使用 Origin 9.0

进行数据的绘图。

2 结果与分析

2.1 芒果和火龙果不同部位组分差异

果蔬脆片质构特性与水分、小分子糖、细胞壁多糖紧密相关,探究原料物质组成是研究脆片质构特性的基础^[23-25]。从物质组成上,可将果蔬组分为水分、醇溶性物质和醇不溶性物质三大类,其中醇不溶性物质可进一步分为可溶性膳食纤维和不可溶性膳食纤维。芒果和火龙果鲜果皮和果肉宏量物质组成成分如表2。芒果果皮水分含量低于果肉,火龙果则相反,其果皮水分含量高达(89.98±0.59) g/100 g FW,这与 Montoya-Arroyo

等^[26]所研究的 90.6 g/100 g FW 结果相似。水分具有塑化作用,干燥前产品的水分含量直接决定冷冻干燥时冰晶的大小、形状和分布,从而影响脆片多孔结构的形成^[27]。芒果、火龙果果皮中 AIR 含量显著高于果肉,表现为 IDF 和 SDF 含量均高于果肉($P<0.05$)。IDF 主要由结合态果胶、半纤维素、纤维素构成,SDF 则主要以果胶为主。上述结果表明果皮较果肉含更多的膳食纤维,膳食纤维是形成果皮坚韧结构的物质基础,意味着果皮较果肉有更厚的细胞壁^[28]。ASR 主要是可溶的小分子糖,在干燥过程中会代替水分与大分子极性残基连接,防止孔隙壁破裂^[29]。芒果皮中 ASR 含量大于果肉,火龙果则相反($P<0.05$)。

表2 果肉和果皮组成成分分析(g/100g FW)

Table 2 Composition analysis of pulp and peel (g/100g FW)

样品	芒果果肉	芒果果皮	火龙果果肉	火龙果果皮
IDF	1.41 ± 0.06 ^a	5.89 ± 0.01 ^d	2.19 ± 0.06 ^b	3.07 ± 0.19 ^c
SDF	0.56 ± 0.21 ^a	2.50 ± 0.31 ^c	0.66 ± 0.02 ^a	1.38 ± 0.04 ^b
AIR	1.97 ± 0.07 ^a	8.39 ± 0.13 ^a	2.85 ± 0.05 ^a	4.45 ± 0.16 ^a
ASR	18.21 ± 0.07 ^a	22.28 ± 0.13 ^c	19.93 ± 0.05 ^b	5.57 ± 0.16 ^d
水分含量	79.82 ± 0.12 ^c	69.33 ± 0.35 ^a	77.22 ± 0.31 ^b	89.98 ± 0.59 ^d

注:IDF 为非水溶性纤维;SDF 为水溶性纤维;AIR 为醇不溶性物质;ASR 为醇溶性物质;同行字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表3为芒果和火龙果不同细胞壁组分的中性糖组成和糖比率。对果肉和果皮通过分步提取得到 AIR、IDF 和 SDF 3种细胞壁多糖组分,总中性糖含量和半乳糖醛酸含量 AIR>IDF>SDF。3种组分均含有 Rha 和 Xyl,说明果胶和木葡聚糖的存在。SDF 中主要的中性糖是 Ara、Gal 和 Glu,但 Rha 和 Gal 在中性糖中所占的比例均高于同组 AIR 和 IDF 中相应的比例,说明 SDF 中主要的细胞壁组分是果胶。AIR、IDF 中较高的 Glu、Xyl 占比说明该组分中主要的细胞壁多糖是纤维素和半纤维素,且少量的 Fuc、Rha 说明存在与纤维素、半纤维素共价连接的果胶。芒果果皮 AIR、IDF 和 SDF 3种组分中 Rha、Ara、Gal、GalA 含量大于果肉,说明芒果皮较果肉含有更多的果胶。火龙果皮 AIR、IDF 和 SDF 3种组分中 Rha、Fuc、GalA 含量大于果肉,且火龙果果皮 AIR 和 IDF 中 Xyl 含量显著大于果肉,说明火龙果果皮中果胶、半纤维素、纤维素含量均高于果肉。果胶为细胞壁提供黏

性,纤维素和半纤维素提供刚性,作为结构大分子它们也影响脆片宏观口感特性^[26]。此外,芒果和火龙果果皮总中性糖含量高于果肉,研究表明中性糖含量越高的果胶与纤维结合的能力越强^[30]。糖比率可反映不同果胶组分的线性度和支链情况^[28]。芒果和火龙果果皮果胶具有较高的半乳糖醛酸含量,使得 R1 较果肉大,表现出较高的线性度,侧链的分支程度较低。芒果组分的 R^2 在 0.01~0.03 范围内,火龙果则较大,说明火龙果果胶中鼠李糖型结构域较多^[31]。

2.2 添加果皮对真空冷冻干燥芒果和火龙果脆片色泽的影响

脆片的色泽是评价产品品质的重要指标,直接影响消费者对产品的接受度。表4为添加果皮对真空冷冻干燥芒果色泽的影响。图1为芒果和火龙果脆片的样品图。由表4和图1可看出 MPP 和 MP 的 L 值、 a 值间均存在显著性差异,MPP 亮度高于 MP,MPP 的 a 值低于 MP 样品,这可能与

表3 细胞壁多糖组分的成分分析

样品	成分	糖含量/mg·g ⁻¹ AIR											糖比例		
		Fuc	Rha	Ara	Gal	Glu	Xyl	中性糖比例	GalA	R ₁	R ₂	R ₃			
芒果 果肉	AIR	3.81 ± 0.01 ^a	2.56 ± 0.13 ^b	22.66 ± 0.06 ^{gh}	29.15 ± 0.96 ^{cd}	24.22 ± 1.10 ^f	23.39 ± 0.79 ^d	1:1:9:11:9:9	123.94 ± 2.56 ^{de}	1.52	0.02	20.23			
	IDF	3.56 ± 0.27 ^{ab}	1.12 ± 0.14 ^a	8.35 ± 0.61 ^{bcd}	15.80 ± 0.53 ^b	19.53 ± 0.41 ⁱ	24.16 ± 1.25 ^d	3:1:7:14:17:22	92.28 ± 7.79 ^{cd}	1.74	0.01	21.54			
	SDF	0.31 ± 0.03 ^e	1.85 ± 0.27 ^{ab}	16.87 ± 1.87 ^{cd}	16.32 ± 1.54 ^b	5.34 ± 0.45 ^{de}	0.98 ± 0.10 ^a	1:6:55:53:17:3	56.40 ± 2.58 ^{bc}	1.55	0.03	17.91			
芒果 果皮	AIR	3.13 ± 0.40 ^{bc}	5.37 ± 0.36 ^c	52.60 ± 5.79 ^j	63.03 ± 10.39 ^e	10.02 ± 1.79 ^g	19.30 ± 2.91 ^e	1:2:17:20:3:6	286.20 ± 4.68 ^f	2.00	0.02	21.53			
	IDF	2.63 ± 0.05 ^d	2.04 ± 0.05 ^{ab}	23.99 ± 0.53 ^{ab}	19.92 ± 0.02 ^{bc}	6.95 ± 0.09 ^{cd}	16.27 ± 0.16 ^e	1:1:12:10:3:8	139.14 ± 6.29 ^{de}	2.15	0.01	21.54			
	SDF	0.14 ± 0.01 ^e	2.69 ± 0.19 ^b	25.40 ± 1.12 ⁱ	35.00 ± 0.44 ^d	2.80 ± 0.04 ^{bc}	0.46 ± 0.02 ^a	1:18:174:239:19:3	100.58 ± 5.79 ^{cd}	1.58	0.03	22.47			
火龙 果肉	AIR	0.49 ± 0.01 ^e	7.33 ± 0.07 ^d	19.14 ± 0.05 ^{de}	20.65 ± 0.36 ^{bc}	16.09 ± 0.25 ^h	5.20 ± 0.16 ^b	1:15:39:42:33:11	12.93 ± 1.36 ^{ab}	0.24	0.57	5.43			
	IDF	0.39 ± 0.02 ^e	6.13 ± 0.00 ^e	14.01 ± 0.10 ^{de}	15.84 ± 0.01 ^b	4.37 ± 0.04 ^{cd}	4.03 ± 0.02 ^{ab}	1:16:36:41:11:10	3.61 ± 0.87 ^a	0.09	1.70	4.87			
	SDF	0.08 ± 0.00 ^e	1.97 ± 0.12 ^{ab}	4.30 ± 0.17 ^{ab}	4.93 ± 0.20 ^a	8.63 ± 0.14 ^{de}	0.61 ± 0.02 ^a	1:25:54:62:108:8	0.86 ± 0.27 ^a	0.07	2.30	4.68			
火龙 果皮	AIR	2.71 ± 0.06 ^{cd}	24.55 ± 0.22 ^g	10.48 ± 0.04 ^{cd}	24.93 ± 0.12 ^{bc}	10.12 ± 0.41 ^g	35.51 ± 0.49 ^e	1:9:4:9:4:13	278.46 ± 0.96 ^e	2.84	0.09	1.44			
	IDF	2.38 ± 0.12 ^d	15.75 ± 0.99 ^f	7.45 ± 0.21 ^{abc}	19.92 ± 1.10 ^{bc}	9.76 ± 0.81 ^g	32.50 ± 1.78 ^e	1:7:3:8:4:14	130.14 ± 0.87 ^f	1.67	0.12	1.74			
	SDF	0.14 ± 0.00 ^e	9.65 ± 0.01 ^e	2.06 ± 0.16 ^c	4.04 ± 0.05 ^a	1.57 ± 0.00 ^a	0.94 ± 0.02 ^a	1:67:14:28:11:7	110.16 ± 1.38 ^{de}	6.54	0.09	0.63			

注: IDF 为非水溶性纤维; SDF 为水溶性纤维; AIR 为醇不溶性物质; Fuc、Rha、Ara、Gal、Glu、Xyl 分别代表岩藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖和木糖; 中性糖比例指 Fuc:Rha:Ara:Gal:Glu:Xyl; 同列字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

芒果成熟度有关,8~9 成熟芒果果皮中的叶绿素未被降解完全。另外,由表 3 和图 2 看出添加火龙果果皮后,脆片色泽发生了明显的变化, a 、 b 值差

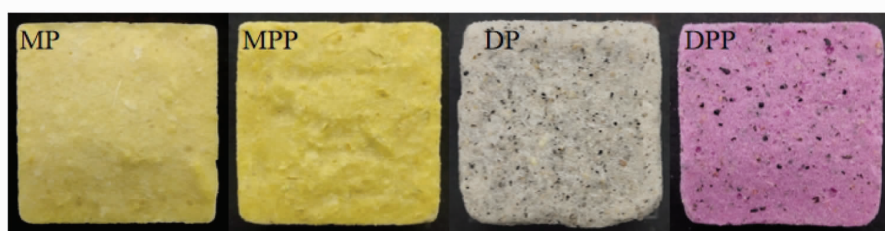
异显著,DP 呈现出火龙果果肉颜色,DP 呈现出火龙果果皮的颜色,与红心火龙果果肉颜色相似。

表 4 添加果皮对 FD 芒果和火龙果脆片色泽的影响

Table 4 Effect of adding peel on the color of FD mango and pitaya chips

样品编号		MP	MPP	DP	DPP
色泽	L	42.37 ± 0.75^b	43.75 ± 1.04^a	44.5 ± 2.77^a	33.43 ± 1.11^a
	a	13.49 ± 1.35^b	9.14 ± 0.96^a	3.66 ± 0.30^b	18.39 ± 1.20^a
	b	27.88 ± 3.36^a	27.04 ± 1.47^a	2.79 ± 0.34^b	-5.31 ± 0.31^a

注:MP 为芒果果肉脆片;MPP 为带皮芒果脆片;DP 为火龙果果肉脆片;DPP 为带皮的火龙果脆片;同行字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。



注:MP 为芒果果肉脆片;MPP 为带皮芒果脆片;DP 为火龙果果肉脆片;DPP 为带皮的火龙果脆片。

图 1 芒果和火龙果脆片产品图

Fig.1 Image of mango and pitaya chips

2.3 添加果皮对真空冷冻干燥芒果和火龙果脆片脆度和硬度的影响

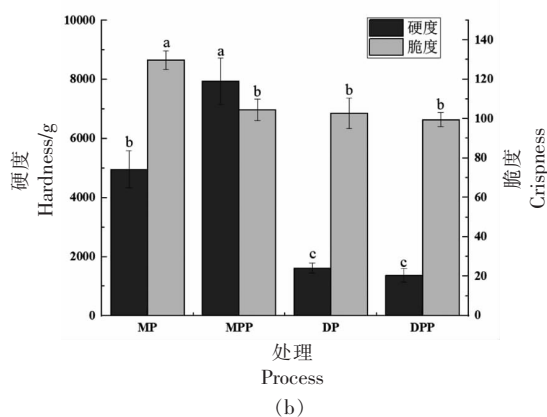
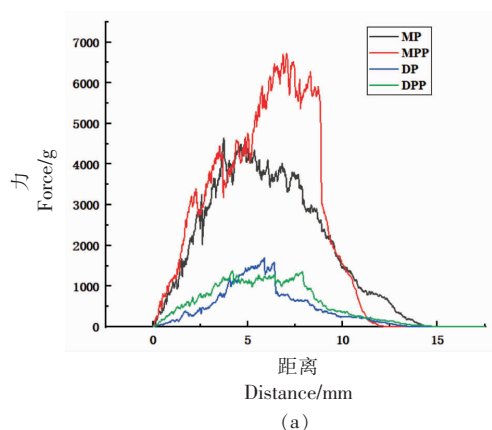
脆片的硬度、脆度等质构特性直接影响产品的口感,其与产品孔隙结构和物质组成有关^[32]。图 2a 为探头下压过程中力-穿透距离曲线。脆片中的水分在真空冷冻干燥过程中经冰晶升华去除,保留了纤维素、半纤维素和果胶等细胞壁组分维持脆片刚性结构,使脆片内部存在许多孔隙。当脆片被压缩时,构成多孔结构的孔壁会弯曲、变形或断裂,导致应力波动^[33]。因此,力-穿透距离曲线不是光滑的,而是由许多小峰组成的锯齿状曲线,峰的波动幅度和频率在一定程度上反映脆片内部空腔大小、均匀性以及细胞壁的厚度、刚性。由图 2a 知,MPP 在下压距离为 8 mm 处完全断裂,即脆片在未完全穿透前发生断裂,说明 MPP 强度较大。下压距离在 3~7.5 mm 之间时 DPP 较 DP 应力波动更平缓,说明 DPP 具有更均匀的孔壁结构。峰个数在一定程度上反映脆片的脆度,施加力的大小反映脆片的硬度。由图 2b 知,MPP 硬度显著大于 MP 样品,脆度相反。硬度增大可能与芒果皮和

果肉细胞壁多糖组分差异有关,芒果皮 IDF 组分含量是果肉的 4.2 倍,导致单位体积内细胞壁物质增多,产生更强的支撑作用使孔壁更加坚固。MPP 刚性强度增大,可避免储运过程中产品破损。DPP 和 DP 脆、硬度差异不显著。火龙果果皮 AIR 含量是果肉的 5.5 倍,高 AIR 含量有助于脆片刚性结构的形成,但火龙果果皮水分含量较果肉高,降低了果浆中单位体积内固形物含量,使脆片结构骨架更松散,因而 DP 和 DPP 脆、硬度差异不显著。

由图 2a 还可见,芒果和火龙果脆片脆、硬度差异显著。基于芒果和火龙果物质组成,推测造成这种质构特性的主要原因与两者醇溶性物质差异有关。醇溶性物质主要由可溶性糖以及酚类物质组成。虽然两者 ASR 含量差异不显著,但芒果中可溶性糖主要是果糖、蔗糖和葡萄糖(比例接近 1:1:2),火龙果主要是果糖和葡萄糖(比例接近 1:1),不含蔗糖。且芒果可溶性糖含量是火龙果的 2.7 倍^[34]。果蔬脆片中的小分子糖在干燥后结晶并附着在细胞壁骨架上,可大幅增强多孔结构的刚

性。此外,这些小分子糖在干燥过程中与大分子极性残基连接,提高组织内部基质稳定性,从而防止

孔隙壁破裂,导致芒果硬度显著大于火龙果。



注:MP为芒果果肉脆片;MPP为带皮芒果脆片;DP为火龙果果肉脆片;DPP为带皮的火龙果脆片;不同字母代表不同处理脆片硬度、脆度差异显著($P < 0.05$)。

图2 FD芒果、火龙果脆片的力-穿透距离曲线(a)和脆硬度(b)

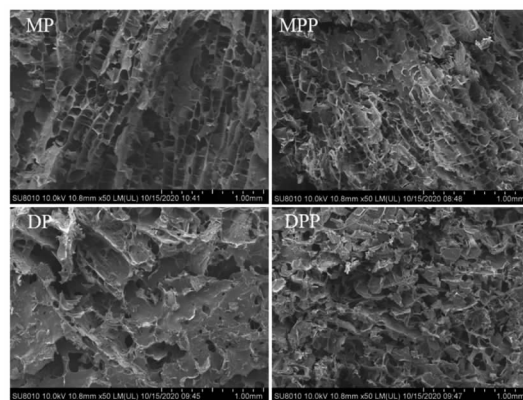
Fig.2 Force and distance curves (a) and hardness and crispness (b) of FD mango and pitaya chips

2.4 添加果皮对真空冷冻干燥芒果和火龙果脆片微观结构的影响

芒果和火龙果脆片的微观结构如图3所示。MP、MPP较DP、DPP有明显的均匀蜂窝状多孔结构,基于芒果和火龙果物质基础,推测存在较高含量的果胶物质可能是形成典型的蜂窝状多孔结构的必要条件之一,本团队在探讨果胶含量对冻干苹果质构形成的影响研究中也验证了这一结果。MP蜂窝状结构较MPP更规则和均匀,这可能是MP脆度大于MPP的原因。MPP相对MP孔径更小,主要是添加芒果皮的MPP样品中含有相对更多的细胞壁多糖,预冻时阻碍了冰晶的扩大,冻干后形成更致密的多孔结构。Hnin等^[9]表明较大的孔隙可能导致产品硬度降低,这与本研究质构测定结果一致。另外,DPP较DP孔隙数目多、孔径小且均匀,这与图2a中DPP锯齿状峰分布较DP均匀结果一致。

2.5 添加果皮对真空冷冻干燥芒果和火龙果脆片营养特性的影响

芒果和火龙果果肉和果皮物质组成存在差异,故添加果皮后脆片的营养品质改变。表5比较了添加果皮前后芒果和火龙果脆片的总糖、总蛋白、总酚和抗氧化能力等营养特性的差异。由表5知,添加果皮后的芒果和火龙果脆片总糖含量均



注:MP为芒果果肉脆片;MPP为带皮芒果脆片;DP为火龙果果肉脆片;DPP为带皮的火龙果脆片。

图3 添加果皮对FD芒果和火龙果脆片微观结构的影响($\times 50$ 倍)

Fig.3 Effect of adding peel on the microstructure of FD mango and pitaya chips ($\times 50$)

下降,这主要是因为果皮糖含量较低拉低了重组脆片的总糖含量,这与尚朝杰^[35]研究发现带皮芒果果汁总糖含量低于未带皮果汁的结论相一致。带皮脆片蛋白质含量与对照差异不显著($P > 0.05$)。MPP总酚含量是MP的1.01~1.25倍,说明芒果果皮较果肉含有更多酚类物质,与Agatonovic-Kustrin等^[36]研究结果一致;DP脆片中总酚含量与DPP样品无显著差异。DPPH清除率、ABTS清除率、铁

离子还原能力是衡量抗氧化能力的客观指标。MPP 和 MP 的 DPPH 和 ABTS 清除率、FRAP 差异均不显著;DPP 的 DPPH、ABTS 清除率和铁离子还原能力均大于 DP。总的来说,DPP 抗氧化能力

较 DP 提高了 18.43%~74.17%,其较高的抗氧化能力可能归因于火龙果果皮中丰富的植物白蛋白、甜菜红素等抗氧化物质。

表 5 添加果皮对 FD 芒果和火龙果脆片总糖、蛋白质、总酚和抗氧化性的影响

Table 5 Effect of adding peel on the total sugar, protein, total phenols and antioxidant properties of FD mango and pitaya chips

样品编号	总糖/g·g ⁻¹	蛋白质/mg·g ⁻¹	总酚/mg·g ⁻¹	抗氧化性		
				DPPH 清除率/%	ABTS 清除率/%	FRAP/mmol·L ⁻¹
MP	0.841 ± 0.07 ^a	38.81 ± 0.01 ^a	16.97 ± 0.99 ^a	94.30 ± 0.05 ^a	70.96 ± 0.05 ^a	8.905 ± 0.22 ^a
MPP	0.579 ± 0.05 ^b	36.37 ± 0.03 ^a	19.02 ± 0.88 ^b	95.57 ± 0.01 ^a	79.96 ± 0.08 ^a	9.123 ± 0.13 ^a
DP	0.626 ± 0.07 ^c	59.27 ± 1.67 ^c	2.15 ± 0.06 ^c	6.07 ± 0.53 ^c	2.57 ± 0.07 ^c	0.845 ± 0.00 ^c
DPP	0.517 ± 0.08 ^c	58.10 ± 0.19 ^c	2.05 ± 0.05 ^c	23.50 ± 1.20 ^d	5.72 ± 0.02 ^d	1.036 ± 0.01 ^d

注:差异显著性结果指对 MP 和 MPP、DP 和 DPP 分别进行独立样本 *T* 检验的结果,其中 MP 和 MPP 结果用 a、b 表示,DP 和 DPP 结果用 c、d 表示;同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

表 6 为不同处理条件下芒果和火龙果脆片的氨基酸组成。MPP 的总氨基酸(TAA)和必须氨基酸(EAA)含量大于 MP,DP 的 TAA 和 EAA 大于 DPP。结合表 5 中的蛋白质含量结果,推测芒果果皮中可能含有较多游离氨基酸,而火龙果果皮中的蛋白质或游离氨基酸相对较少。在检出 16 种氨基酸中,除半胱氨酸、甲硫氨酸和酪氨酸外,其余

氨基酸在 MPP 中的含量大于 MP。MP 和 MPP 中含量最多的氨基酸是谷氨酸、天冬氨酸和丙氨酸,其中天冬氨酸和谷氨酸均为鲜味氨基酸。另外,MPP 中甜味氨基酸含量(丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸含量之和)高于 MP。DP 中所含的各种氨基酸含量均高于 DPP。

表 6 添加果皮对 FD 芒果和火龙果脆片氨基酸组成的影响(mg/g)

Table 6 Effect of adding peel on the amino acid composition of FD mango and pitaya chips(mg/g)

样品编号	MP	MPP	DP	DPP
天冬氨酸	3.54 ± 0.018 ^a	3.97 ± 0.06 ^b	5.16 ± 0.30 ^c	4.33 ± 0.05 ^d
苏氨酸	1.42 ± 0.06 ^a	1.52 ± 0.00 ^b	2.51 ± 0.06 ^c	1.93 ± 0.02 ^d
丝氨酸	1.70 ± 0.00 ^a	1.88 ± 0.01 ^b	2.84 ± 0.06 ^c	2.18 ± 0.02 ^d
谷氨酸	5.29 ± 0.05 ^a	5.76 ± 0.08 ^b	11.72 ± 0.26 ^c	8.03 ± 0.10 ^d
甘氨酸	1.39 ± 0.12 ^a	1.58 ± 0.01 ^b	3.43 ± 0.18 ^c	2.57 ± 0.03 ^d
丙氨酸	3.16 ± 0.13 ^a	3.41 ± 0.03 ^b	2.85 ± 0.00 ^c	2.31 ± 0.02 ^d
半胱氨酸	0.13 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.03 ^a	0.48 ± 0.09 ^c	0.38 ± 0.01 ^c
缬氨酸	1.72 ± 0.06 ^a	1.83 ± 0.04 ^a	2.99 ± 0.24 ^c	2.51 ± 0.02 ^d
甲硫氨酸	0.27 ± 0.06 ^a	0.16 ± 0.07 ^a	1.01 ± 0.15 ^c	0.49 ± 0.01 ^d
异亮氨酸	1.31 ± 0.15 ^a	1.51 ± 0.02 ^a	2.45 ± 0.13 ^c	2.00 ± 0.03 ^d
亮氨酸	2.31 ± 0.08 ^a	2.47 ± 0.01 ^b	4.56 ± 0.02 ^c	3.49 ± 0.05 ^d
酪氨酸	0.33 ± 0.04 ^a	0.24 ± 0.13 ^a	1.79 ± 0.40 ^c	0.86 ± 0.36 ^d
苯丙氨酸	1.26 ± 0.15 ^a	1.48 ± 0.06 ^a	2.95 ± 0.25 ^c	2.25 ± 0.01 ^d
赖氨酸	2.35 ± 0.19 ^a	2.61 ± 0.07 ^a	2.92 ± 0.21 ^c	2.68 ± 0.05 ^d
组氨酸	0.77 ± 0.21 ^a	0.83 ± 0.13 ^a	2.26 ± 0.06 ^c	1.55 ± 0.08 ^d
精氨酸	1.88 ± 0.42 ^a	2.33 ± 0.07 ^a	7.59 ± 0.35 ^c	4.59 ± 0.01 ^c
必须氨基酸 EAA	10.65	11.58	19.39	15.37
总氨基酸 TAA	28.84	31.69	57.5	42.15

注:差异显著性结果指对 MP 和 MPP、DP 和 DPP 分别进行独立样本 *T* 检验的结果,其中 MP 和 MPP 结果用 a、b 表示;DP 和 DPP 结果用 c、d 表示;同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2.6 添加果皮对真空冷冻干燥芒果和火龙果脆片香气特征的影响

PCA 通过降维处理将多指标转化为少数几个相互独立且包含原有指标大部分信息的综合指标^[37]。图 4a 为添加果皮后芒果和火龙果脆片的电子鼻主成分分析图, 由图知主成分 1 的贡献率为 90.40%, 主贡献率为 6.91%, 累计贡献率为 97.31%, 故这两个主成分可代表芒果和火龙果中的主要香

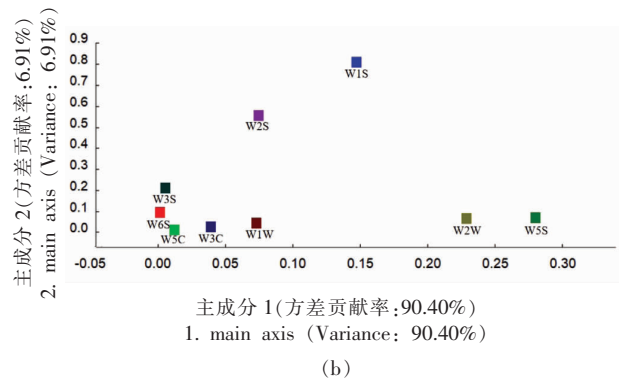
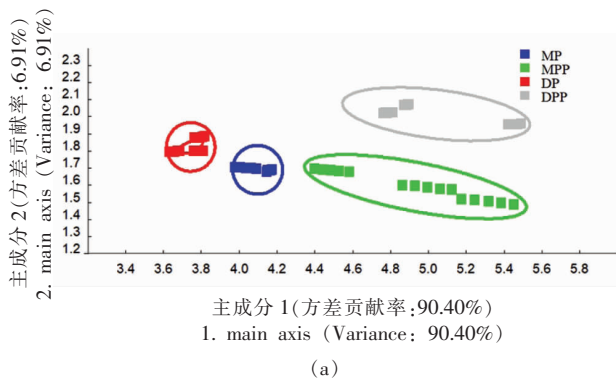


图 4 FD 芒果和火龙果脆片的电子鼻响应值(a)和传感器载荷分布图(b)

Fig.4 Electronic nose response value (a) and sensor load distribution diagram (b) of FD mango and pitaya chips

2.7 感官评价

从外观、气味、质地、滋味、总体可接受度等 5 个方面对质构重组芒果和火龙果全果脆片感官品质进行评定。如图 5 所示,MP 和 MPP 气味和滋味得分一致, 说明添加果皮对质构重组型芒果脆片的鲜果香味、酸甜度影响不大($P>0.05$), 依靠人的嗅觉和味觉难以分辨。在质地上, MPP 较 MP 得分偏低, 这可能与 MPP 硬度较大有关。在气味、质地和滋味方面, DP 较 DPP 得分较高。但火龙果皮赋予了脆片鲜艳的颜色, 提高了脆片外观品质。总的来说, 芒果和火龙果全果脆片色泽均一、片形完整、碎屑较少, 且添加果皮并未掩盖鲜果原有的鲜香味、滋味不腻, 消费者对芒果和火龙果全果脆片都较满意。这为芒果皮和火龙果皮的实际应用提供了依据。

3 结论

本文分析了芒果和火龙果果皮、果肉的基础化学物质组成, 在此基础上明确了添加果皮对芒果和火龙果重组全果脆片质构、色泽、风味和营养

气物质。相对 MP 来说, MPP 位置偏右上方; DPP 位置较 DP 偏右。两组脆片区分都较明显, 说明添加芒果皮和火龙果皮后脆片香气发生了较大变化。图 4b 为火龙果和芒果脆片电子鼻传感器分析结果的载荷分析图。由图可知, W2W(对芳香类化合物、有机硫化物敏感)、W5S(对氮氧化合物敏感)对主成分 1 贡献率最大; W1S(对烷类化合物敏感)对主成分 2 贡献率最大^[38]。

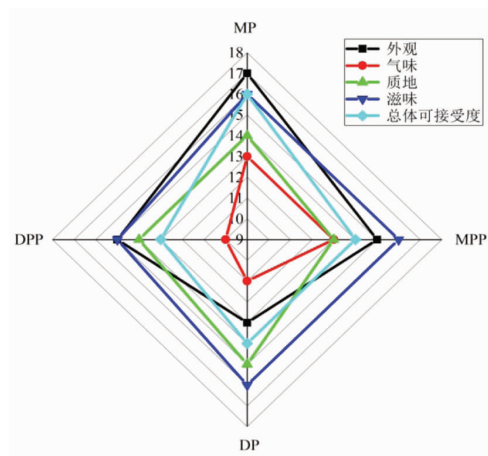


图 5 芒果和火龙果脆片感官评分雷达图

Fig.5 Sensory score radar chart of mango and pitaya chips

品质的影响。主要结论如下: 首先, 添加果皮对重组全果芒果和火龙果脆片的影响不同。添加芒果皮使脆片具有更致密的孔隙结构, 硬度增大、脆度减小; 添加火龙果皮使火龙果脆片孔隙更均匀、数量增多, 但脆片的脆、硬度无显著变化。其次, 果皮

化学组分是决定其对重组脆片品质影响的物质基础,其中起决定性作用的主要有水分、细胞壁多糖和小分子糖3类物质含量。总的来说,脆片硬度与水分含量呈负相关,与细胞壁多糖含量呈正相关;再者,芒果皮和火龙果皮富含膳食纤维、酚类物质和氨基酸等营养功能组分,添加果皮可使得脆片的营养更加均衡。综上,添加果皮后的重组芒果和火龙果脆片具有优良的质构、色泽和营养品质,基于质构重组和组分重构的真空冷冻干燥重组脆片制造工艺是调控果蔬脆片品质和促进果皮资源高效利用的有效途径。

参 考 文 献

- [1] PARVEZ G M. Pharmacological activities of mango (*mangifera indica*): A review[J]. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2016, 5(3): 1-7.
- [2] 李仙仙. 麦芽糊精对芒果粉状态图和焙松弛的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
LI X X. Effects of Maltodextrin addition on the state diagram and enthalpy relaxation of mango powder[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [3] VITHANA M D K, SINGH Z, JOHNSON S K. Cold storage temperatures and durations affect the concentrations of lupeol, mangiferin, phenolic acids and other health-promoting compounds in the pulp and peel of ripe mango fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 139: 91-98.
- [4] 张灵帮, 邵玲, 胡隼, 等. 两种火龙果果皮红色素提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(5): 163-169.
ZHANG L B, SHAO L, HU S, et al. Optimization of extraction technology and antioxidant activity of red pigment from two different species of pitaya peel [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(5): 163-169.
- [5] MAYO -MAYO G, NAVARRETE -GARCÍA A, MALDONADO-ASTUDILLO Y I, et al. Addition of roselle and mango peel powder in tortilla chips: a strategy for increasing their functionality[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2020, 14(3): 1511-1519.
- [6] CHEN Y, ZHAO L, HE T, et al. Effects of mango peel powder on starch digestion and quality characteristics of bread[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 140: 647-652.
- [7] CAN-CAUICH C A, SAURI-DUCH E, BETANCUR-ANCONA D, et al. Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity[J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 37: 501-506.
- [8] 候春辉, 易建勇, 毕金峰, 等. 干燥方式和原料配比对胡萝卜-马铃薯再造型复合脆片品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(11): 140-147.
HOU C H, YI J Y, BI J F, et al. Effects of drying methods and raw material ratio on the quality of restructured carrot-potato chips[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(11): 140-147.
- [9] HNIN K K, ZHANG M, WANG B, et al. Different drying methods effect on quality attributes of restructured rose powder-yam snack chips [J]. *Food Bioscience*, 2019, 32: 100486.
- [10] FONGIN S, KAWAI K, HARNKARNSUJARIT N, et al. Effects of water and maltodextrin on the glass transition temperature of freeze-dried mango pulp and an empirical model to predict plasticizing effect of water on dried fruits[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 210: 91-97.
- [11] SILVA -ESPINOZA M A, CAMACHO M D M, MARTÍNEZ -NAVARRETE N. Use of different biopolymers as carriers for purposes of obtaining a freeze-dried orange snack[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 127: 109415.
- [12] MARTÍNEZ -NAVARRETE N, SALVA A, OLIVA C, et al. Influence of biopolymers and freeze-drying shelf temperature on the quality of a mandarin snack[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 99: 57-61.
- [13] 肖敏, 易建勇, 毕金峰, 等. 不同干燥方式对苹果片质构的影响及其与果胶性质的关系[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(7): 157-162.
XIAO M, YI J Y, BI J F, et al. Influence of different dehydration processes on the texture and pectin characteristics of apple chips[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(7): 157-162.
- [14] 曹风, 刘璇, 毕金峰, 等. 不同品种苹果果胶含量及结构差异分析[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(13): 2328-2340.
CAO F, LIU X, BI J F, et al. Difference analysis

- of pectin content and structure from various apple cultivars[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(13): 2328–2340.
- [15] YANG J S, MU T H, MA M M. Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp[J]. *Food Chemistry*, 2017, 144: 197–205.
- [16] HOUBEN K, JOLIE R P, FRAEYE I, et al. Comparative study of the cell wall composition of broccoli, carrot, and tomato: Structural characterization of the extractable pectins and hemicelluloses[J]. *Carbohydrate Research*, 2011, 346(9): 1105–1111.
- [17] HOU H, CHEN Q, BI J, et al. Understanding appearance quality improvement of jujube slices during heat pump drying via water state and glass transition [J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 272: 109874.
- [18] ZHANG L, LIAO L, QIAO Y, et al. Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum–freeze drying[J]. *Food Chemistry*, 2020, 303: 125386.
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 食用菌中总糖含量的测定: GB/T 15672–2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Determination of total saccharide in edible mushroom: GB/T 15672–2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中蛋白质的测定: GB/T 5009.5–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of protein in food: GB/T 5009.5–2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [21] 贾桂云, 吴凌志, 羊传慧, 等. 芒果和番石榴的果皮、果肉多酚含量测定及抗氧化性比较分析[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2018, 31(1): 38–43.
- JIA G Y, WU L Z, YANG C H, et al. Polyphenol contents of peel and flesh extracts from mango and guava and the comparative analysis of their antioxidant properties[J]. *Journal of Hainan Normal University (Natural Science Edition)*, 2018, 31(1): 38–43.
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of amino acids in food: GB 5009.124–2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [23] KOTWALIWALE N, BAKANE P, VERMA A. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(4): 1207–1211.
- [24] SILVA –ESPINOZA M A, CAMACHO M D M, MARTÍNEZ –NAVARRETE N. Use of different biopolymers as carriers for purposes of obtaining a freeze–dried orange snack[J]. *LWT–Food Science and Technology*, 2020, 127: 109415.
- [25] 彭健. 压差闪蒸干燥胡萝卜脆条质构品质形成机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- PENG J. Formation mechanism of textural and structural properties of instant controlled pressure drop (DIC) dried carrot chips[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [26] MONTOYA –ARROYO A, SCHWEIGGERT R M, PINEDA–CASTRO M, et al. Characterization of cell wall polysaccharides of purple pitaya (*Hylocereus sp.*) pericarp[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 35: 557–564.
- [27] JIANG H, ZHANG M, MUJUMDAR A S, et al. Comparison of the effect of microwave freeze drying and microwave vacuum drying upon the process and quality characteristics of potato/banana re–structured chips[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2011, 46(3): 570–576.
- [28] PENG J, BI J, YI J, et al. Characteristics of cell wall pectic polysaccharides affect textural properties of instant controlled pressure drop dried carrot chips derived from different tissue zone[J]. *Food Chemistry*, 2019, 293: 358–367.
- [29] FERRANDO, SPIESS, WEL. Cellular response of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose, and trehalose solutions[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001, 49(2/3): 115–127.
- [30] LIN D, LOPEZ–SANCHEZ P, GIDLEY M J. Interactions of pectins with cellulose during its synthesis in the absence of calcium[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 52: 57–68.
- [31] XIAO M, YI J, BI J, et al. Modification of cell wall polysaccharides during drying process affects

- texture properties of apple chips[J]. *Journal of Food Quality*, 2018.
- [32] YI J, ZHOU L, BI J, et al. Influences of microwave pre-drying and explosion puffing drying induced cell wall polysaccharide modification on physicochemical properties, texture, microstructure and rehydration of pitaya fruit chips[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 70: 271-279.
- [33] LAURINDO J B, PELEG M. Mechanical measurements in puffed rice cakes[J]. *Journal of Texture Studies*, 2007, 38(5): 619-634.
- [34] 于璐, 周光明, 沈洁, 等. 离子交换色谱法测定10种热带水果中的葡萄糖、蔗糖和果糖[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(22): 94-98.
- YU L, ZHOU G M, SHENG J, et al. Determination of glucose, sucrose and fructose in 10 kinds of tropical fruits by ion chromatography[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(22): 94-98.
- [35] 尚朝杰. 芒果带皮果汁加工过程中品质变化及控制的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015.
- SHANG C J. Study on quality change and control during the processing of mango juice with peel[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2015.
- [36] AGATONOVIC-KUSTRIN S, KUSTRIN E, MORTON D W. Phenolic acids contribution to antioxidant activities and comparative assessment of phenolic content in mango pulp and peel[J]. *South African Journal of Botany*, 2018, 116: 158-163.
- [37] 王沛, 刘璇, 毕金峰, 等. 基于主成分分析的中早熟苹果脆片品质评价[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(6): 204-211.
- WANG P, LIU X, BI J F, et al. Quality evaluation of mid-early maturity apple chips based on principal component analysis[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2012, 12(6): 204-211.
- [38] MARTÍNEZ GILA D M, GÁMEZ GARCÍA J, BELLINCONTRO A, et al. Fast tool based on electronic nose to predict olive fruit quality after harvest[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 160: 111058.

Effect of Adding Peel on Quality of Freeze-dried Restructured Mango and Pitaya Chips

Guo Yuxia, Bi Jinfeng, Yi Jianyong*, Li Xuan, Feng Shuhan

(*Institute of Food Science and Technology, CAAS; Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193*)

Abstract The peel of mango and pitaya are rich in dietary fiber and polyphenols, which are not used effectively, resulting in a waste of resources. The processing of restructured fruit and vegetable chips based on vacuum freeze-drying technology provides a feasible way for efficient utilization of peel resources. This study took mango and pitaya as typical objects to study the differences in the composition of the pulp and peel, and to explore the effect of adding peel on the texture, color, flavor and other sensory qualities, as well as total phenols, protein, antioxidant and other nutritional qualities of the restructured mango and pitaya chips under vacuum freeze-drying. The results showed that compared with the control samples without peel, the hardness of chips was increased by more than 56.36% by adding mango peel, and the microscopic pores was more compact. There was no significant difference in the crispness and hardness between pitaya chips with peel added and contrast ($P>0.05$). And the number of microscopic pores increased and the pore size decreased. After adding peel, the antioxidant ability of pitaya chips was increased by 18.43%-74.17%. The total phenol of mango chips was increased by 0.01-0.25 times. Sensory evaluation showed that there was no significant difference in the comprehensive quality of the two kinds of restructured chips with peel added. In summary, the process of restructured chips with peel can significantly increase the resource utilization of mango and pitaya while maintaining the core sensory quality and improving nutritional indicators.

Keywords mango peel; pitaya peel; vacuum freeze-drying; restructured fruit and vegetable chips; texture; sensory quality