

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.10.001

# 月柿果片不同部位酚类组成及褐变酶活力分布特征

吴婷婷<sup>1,2</sup>, 段振华<sup>2\*</sup>, 田玉红<sup>1</sup>, 王春婷<sup>1,2</sup>

(1. 广西科技大学生物与化学工程学院, 广西柳州 545006; 2. 贺州学院食品与生物工程学院, 广西康养食品科学与技术重点实验室, 广西贺州 542899)

**摘要:**为研究月柿果片不同部位酚类组成与其在微波干燥过程中色泽变化不均匀的关系,将月柿果片由顶到底分为A、B、C 3个区域,由外到内分成1、2两个区域,从酶促褐变视角探究新鲜月柿果片不同部位水分、总酚、可溶性单宁、总黄酮含量及多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)、过氧化物酶(peroxidase enzyme, POD)活力的分布特征。结果表明,在纵向方向上,水分含量由顶到底依次减少,POD活力则呈现相反的趋势;总酚和总黄酮含量分布为A区>C区>B区;可溶性单宁含量呈现A1区<B1区<C1区、B2区<C2区<A2区的变化趋势;PPO活力呈现B区>C区>A区的分布特征。在横向方向上,水分含量和PPO、POD活力分布表现为1区<2区;总酚、可溶性单宁和总黄酮含量呈现A1区<A2区、B1区>B2区、C1区>C2区的变化趋势。此外,主成分分析表明月柿果片不同部位活性成分组成有明显差异。  
**关键词:**月柿果片;不同部位;酚类物质;多酚氧化酶;过氧化物酶

## Distribution Characteristics of Phenols and Browning Enzymes Activities in Different Parts of Persimmon Slices

WU Tingting<sup>1,2</sup>, DUAN Zhenhua<sup>2\*</sup>, TIAN Yuhong<sup>1</sup>, WANG Chunting<sup>1,2</sup>

(1. College of Biological and Chemical Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China; 2. College of Food and Biological Engineering, Guangxi Key Laboratory of Health Care Food Science and Technology, Hezhou University, Hezhou 542899, Guangxi, China)

**Abstract:** In order to investigate the relationship between the phenolic composition of different parts of persimmon slices and the uneven color change during microwave drying, persimmon slices were divided into three parts A, B, and C from top to bottom and zones 1 and 2 from outside to inside. From the perspective of enzymatic browning, the distribution characteristics of moisture, total phenols, soluble tannins, total flavonoids, and polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase enzyme (POD) activities in different parts of fresh persimmon slices were explored. The results exhibited that in the longitudinal direction, the moisture content decreased from top to bottom, while the POD activity showed the opposite trend. The distribution of total phenol and total flavonoid contents was A>C>B, and the soluble tannin content in the ascending order was A1<B1<C1 and B2<C2<A2. The PPO activity showed the distribution characteristics of B>C>A. In the lateral direction, the distribution of moisture content and PPO and POD activities in zone 1 was lower than that in zone 2. The content of total phenol, soluble tannin, and total flavonoid demonstrated a trend of A1<A2, B1>B2, and C1>C2. Additionally, principal component analysis showed significant differences in the composition of active ingredients in different parts of persimmon slices.

**Key words:** persimmon slices; different parts; phenolic substances; polyphenol oxidase; peroxidase

引文格式:

吴婷婷, 段振华, 田玉红, 等. 月柿果片不同部位酚类组成及褐变酶活力分布特征[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(10): 1-6, 43.

基金项目: 国家自然科学基金项目(32160581); 广西自然科学基金项目(2020GXNSFAA259012)

作者简介: 吴婷婷(1997—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品加工。

\*通信作者: 段振华(1965—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 现代食品加工新技术。

WU Tingting, DUAN Zhenhua, TIAN Yuhong, et al. Distribution Characteristics of Phenols and Browning Enzymes Activities in Different Parts of Persimmon Slices[J]. Food Research and Development, 2024, 45(10): 1-6, 43.

柿子是柿科柿属落叶乔木植物,是亚洲国家重要的水果作物之一<sup>[1]</sup>。我国作为柿子的原产地,不仅拥有多年的栽种历史,而且种植面积和产量均处于领先水平<sup>[2]</sup>。据联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)统计,2019年全世界柿树栽培面积99.24万hm<sup>2</sup>、柿果年产量427万t<sup>[3]</sup>。我国柿树栽培地区分布广泛,主要集中于河北、广西、陕西、河南、山东等地,其中广西是我国柿果年产量最高的一个产区<sup>[4]</sup>,恭城月柿是广西主要种植的特色涩柿品种,享有“中华名果”的美称。月柿富含维生素C、糖类、氨基酸等多种营养物质,同时含有大量的抗氧化物质(如缩合单宁和黄酮类物质)<sup>[5-6]</sup>,所含的天然多酚类物质与月柿的营养及药用功效具有显著相关性<sup>[7]</sup>。

月柿属于呼吸跃变型果实,采集期集中,采摘后易腐烂变质,不耐贮藏。目前月柿主要鲜食,加工产品单一,以传统的柿饼为主。干燥通过降低含水量、抑制微生物生长和酶的活性,可有效延长果蔬制品的保质期<sup>[8]</sup>。微波干燥因热效高、能耗低等优点近年来被广泛应用于食品加工中。通过对微波干燥月柿果片进行一系列研究发现<sup>[9-12]</sup>,在微波干燥过程中,月柿果片的果心部位先发生色泽变化,并随着干燥过程的进行由内向外逐渐延伸,导致色泽分布不均匀严重影响产品品质,这种现象称为“逆边角效应”<sup>[10]</sup>。月柿中富含酚类物质和褐变酶,经切分后在空气中极易氧化发生酶促褐变,其中多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和过氧化物酶(peroxidase enzyme, POD)是引起果蔬褐变的关键酶。考虑到微波干燥月柿果片的色泽变化可能与酶促褐变有关,因此研究新鲜月柿果片不同部位主要酚类物质及褐变酶活性的分布特征是十分有必要的。

目前对柿子酚类物质的相关研究主要集中于不同品种、不同生育期及整果的不同部位等方面。陆笛等<sup>[13]</sup>研究发现月柿在膨大期果肉和果皮的可溶性单宁含量最高,进入成熟后可溶性单宁含量显著下降。徐玲飞等<sup>[14]</sup>对老鸦柿不同部位(果实、根、茎、叶、种子)的总黄酮含量进行测定,发现不同部位总黄酮含量有显著差异,总黄酮含量为叶>根>果实>茎>种子。对整片月柿果片分区后的酚类物质及褐变酶活性研究鲜有报道。因此,本研究以恭城月柿为原料,通过测定新鲜月柿果片不同部位水分、总酚、可溶性单宁、总黄酮含量及多酚氧化酶和过氧化物酶活性,明确酚类物质在不同部位的差异性,以期探究月柿果片不同部位的

酚类物质及褐变酶活性是否影响其微波干燥过程中色泽分布不均匀提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

恭城月柿:市售;芦丁(分析纯):国药集团化学试剂有限公司;福林酚、愈创木酚(均为分析纯):上海源叶生物科技有限公司;没食子酸、邻苯二酚(均为分析纯):天津大茂化学试剂厂;甲醇、乙醇、冰醋酸、乙酸钠、硝酸铝、亚硝酸钠、氢氧化钠、碳酸钠、过氧化氢(均为分析纯):广东光华科技股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

水分测定仪(MA 150):北京赛多利斯仪器系统有限公司;电子天平(PTX-FA110S):福州华志科学仪器有限公司;微型粉碎机(A11):德国IKA集团;高速粉碎机(FW-100):天津市泰斯特仪器有限公司;数显高速分散均质机(P1200S):湖南力辰仪器科技有限公司;数显恒温水浴锅(HH-S2):江苏金怡仪器科技有限公司;数控超声波清洗器(KQ3200DE):昆山市超声仪器有限公司;台式高速冷冻离心机(5804R):德国艾本德股份公司;台式低速大容量离心机(L550):湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;分光光度计(722):上海佑柯仪器仪表有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 材料处理

选择无机械损伤、无病虫害、成熟度和大小相对一致的新鲜恭城月柿为原料,经清洗、去根、削皮后,按照盘喻颜等<sup>[9]</sup>的方法将月柿切成厚度为2cm的果片。再将月柿果片切分为6个部位。切分方式如图1所示。将月柿果片以内部在右、外部在左的方式立式摆放,垂直方向由顶到底在1/3和2/3处切分成3个部位,记为A、B、C;水平方向由外到内在1/2处切分成2个部位,记为1、2。

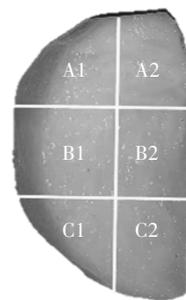


图1 月柿果片的切分方式

Fig.1 Cutting method of persimmon slices

### 1.3.2 指标测定

#### 1.3.2.1 水分含量的测定

取 0.5~1.0 g 研磨后的月柿样品,放入水分测定仪中进行测定,重复测定 3 次。

#### 1.3.2.2 总酚含量的测定

参照文献[15]的方法并略作修改,称取 1 g 样品加入 10 mL 80% 甲醇溶液,在 50 °C、150 W 功率下超声 2 h,在 4 °C、10 000 r/min 离心 20 min,上清液即为总酚提取液。1 mL 提取液加入 6 mL 蒸馏水、0.5 mL 福林酚试剂和 1.5 mL 20% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液并定容至 25 mL,摇匀。将得到的混合物水浴 75 °C 下暗处反应 10 min,冷却至室温,在 765 nm 下测定吸光度,以没食子酸作为标准品绘制标准曲线,所得标准曲线为  $y = 0.277 2x - 0.003 9$ ,  $R^2 = 0.999 3$ ,计算总酚的含量,结果以 mg/g 表示。

#### 1.3.2.3 可溶性单宁含量的测定

参照文献[16]的方法并略作修改,将 5 g 样品置于离心管中,加入 20 mL 80% 甲醇溶液,4 000 r/min 离心 15 min,将上清液转移到 50 mL 容量瓶中,用 20 mL 80% 甲醇溶液再次清洗沉淀物,重复上述操作,最后取上清液于容量瓶中并定容至 50 mL。1 mL 提取液加入 7.5 mL 蒸馏水、0.5 mL 福林酚试剂和 1 mL 饱和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液。将摇匀的混合物在室温下置于黑暗中保存 1 h,在 725 nm 处测定吸光度,以没食子酸作为标准品绘制标准曲线,所得标准曲线为  $y = 0.094x - 0.002 3$ ,  $R^2 = 0.999 6$ ,计算可溶性单宁的含量,结果以 mg/g 表示。

#### 1.3.2.4 总黄酮含量的测定

参考文献[17]的方法并略作修改。称取 1 g 样品加入 12 mL 40% 乙醇溶液,在 75 °C、90 W 功率下超声 30 min,4 000 r/min 离心 15 min,上清液即为总黄酮提取液。1 mL 提取液用 70% 甲醇溶液稀释至 4 mL,加入 5% NaNO<sub>2</sub> 溶液 0.3 mL,静置 6 min,加入 10% Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 溶液 0.3 mL,再静置 6 min 后,加入 4 mL 1 mol/L NaOH 溶液并定容至 10 mL,摇匀静置 20 min 后于 510 nm 处测定吸光度,以芦丁作为标准品绘制标准曲线,所得标准曲线为  $y = 0.848 9x - 0.002 3$ ,  $R^2 = 0.999 7$ ,计算总黄酮的含量,结果以 mg/g 表示。

#### 1.3.2.5 多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活力的测定

参考文献[18]的方法并略作修改。称取 1 g 样品加入 6 mL 0.1 mol/L、pH5.5 乙酸钠缓冲液,冰浴提取 10 min,4 °C、10 000 r/min 离心 20 min,上清液即为 PPO 和 POD 的粗酶液。

1) PPO 活力的测定:采用邻苯二酚法测定。取 2.9 mL 0.05 mol/L 邻苯二酚溶液加入 0.1 mL 粗酶液,于 410 nm 处测定吸光度。开始反应并计时,每 30 s 记录一次,测定 3 min。以蒸馏水为空白对照,以每分

钟吸光度变化 0.01 为一个酶活力单位 U,活力值表示为 U/g。

2) POD 活力的测定:采用愈创木酚法测定。取 2.9 mL 0.025 mol/L 愈创木酚与 0.5 mol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 混合溶液加入 0.1 mL 粗酶液,于 470 nm 处测定吸光度。开始反应并计时,每 30 s 记录一次,测定 3 min。以蒸馏水为空白对照,以每分钟吸光度变化 0.01 为一个酶活力单位 U,活力值表示为 U/g。

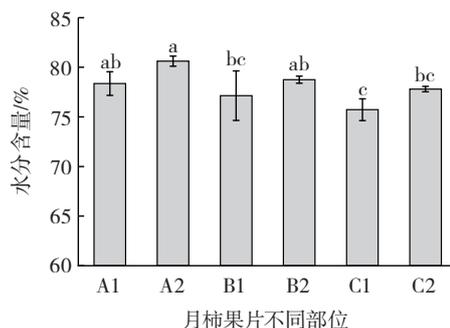
### 1.4 数据处理

本试验采用 SPSS 19.0 进行数据分析,样本间采用方差分析和 Duncan 法进行统计学分析,采用 Origin 2021 Pro 软件进行绘图,数据以平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 月柿果片不同部位水分含量的分布特征

月柿果片不同部位的水分含量见图 2。



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

图 2 月柿果片不同部位的水分含量

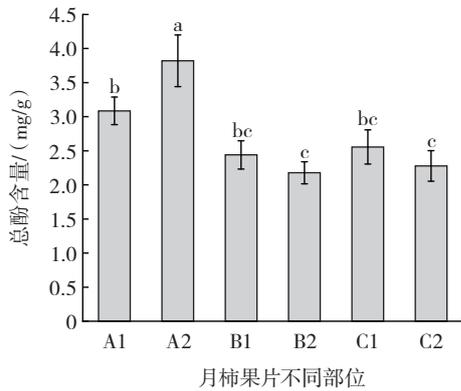
Fig.2 Moisture content of different parts of persimmon slices

由图 2 可知,月柿果片水分含量的分布呈现明显的区域分布特性,不同部位的水分含量差异明显。对比 A、B、C 区,果片由顶到底水分含量依次减少。其中,A2 区的水分含量最高,为 80.62%,C1 区的水分含量最低,为 75.72%,这与陈超锋<sup>[19]</sup>及林翊<sup>[20]</sup>的研究结果一致。对比 1、2 区,果片水分含量呈现 1 区 < 2 区的趋势。这可能是由于月柿本身的组织结构导致的水分含量分布不均匀<sup>[21]</sup>。

### 2.2 月柿果片不同部位总酚含量的分布特征

总酚是柿果中含有的主要活性物质,对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌有显著的抑制能力,并具有良好的抗氧化、降血脂的活性<sup>[22]</sup>。月柿果片不同部位的总酚含量见图 3。

由图 3 可知,月柿果片不同部位总酚含量差异明显。对比 A、B、C 区,月柿果片总酚含量呈现 A > C > B 的分布趋势。对比 1、2 区,果片 A 区的总酚含量分布特征为 A1 < A2, B 区和 C 区则呈现相反的趋势。其中 A2 区总酚含量最高,为 3.82 mg/g, B2 区总酚含量最低,为 2.18 mg/g。陈佳歆<sup>[23]</sup>研究发现,涩柿的总酚含量



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

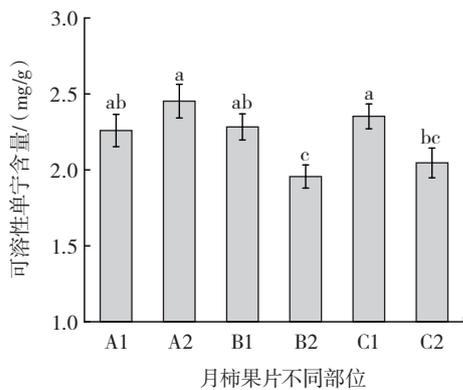
图3 月柿果片不同部位的总酚含量

Fig.3 Total phenolic content of different parts of persimmon slices

约为 2.0 mg/g, 与本研究结果相似。周诗晶<sup>[24]</sup>在测定不同成熟度月柿的总酚含量时发现, 总酚含量的差异性可能与柿果品种、成熟度、总酚提取方法及柿果生长环境等有关。月柿在去皮、切片过程中, 受到机械性损伤导致细胞结构破损, 在氧气的作用下, PPO 催化酚类物质向醌及其聚合物转变<sup>[25]</sup>。Duan 等<sup>[26]</sup>对荔枝采后贮藏过程的研究发现, 随着果实褐变, 总酚含量明显下降。月柿果片不同部位总酚含量的差异可能是 PPO 由活力的差异导致。

### 2.3 月柿果片不同部位可溶性单宁含量的分布特征

单宁类物质为大分子酚类化合物, 可分为水溶性单宁和缩合单宁, 可溶性单宁是造成柿子涩味的主要物质<sup>[21]</sup>。月柿果片不同部位的可溶性单宁含量见图 4。



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

图4 月柿果片不同部位的可溶性单宁含量

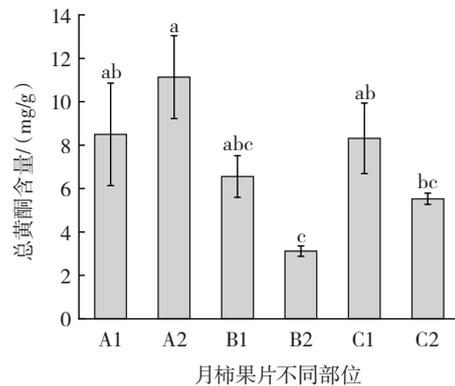
Fig.4 Soluble tannin content of different parts of persimmon slices

由图 4 可知, 月柿果片不同部位的可溶性单宁含量有明显差异。对比 A、B、C 区, 月柿果片由顶到底在 1 区可溶性单宁含量依次增加, 在 2 区, B2 区含量最低, 为 1.96 mg/g, C2 区次之, A2 区含量最高, 为 2.45 mg/g。本研究测得的可溶性单宁含量范围与陈超锋<sup>[19]</sup>研究一致。对比 1、2 区, 果片 A 区的可溶性单宁

含量为  $A1 < A2$ , B 和 C 区则反之。李雪蕾等<sup>[27]</sup>研究发现单宁含量与光照强度成正比关系。果片不同部位的可溶性单宁含量不同, 可能是由于在柿果生长过程中, 柿果不同部位接收到的光照强度不同。

### 2.4 月柿果片不同部位总黄酮含量的分布特征

月柿中含有丰富的黄酮类化合物, 黄酮类化合物具有降脂、抗氧化、抗血栓、清除自由基等功效。月柿果片不同部位的总黄酮含量见图 5。



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

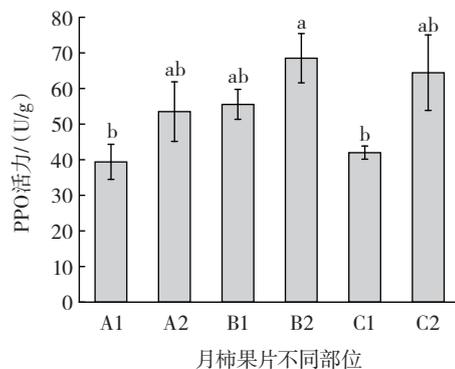
图5 月柿果片不同部位的总黄酮含量

Fig.5 Total flavonoid content of different parts of persimmon slices

由图 5 可知, 月柿果片不同部位的总黄酮含量差异明显。对比 A、B、C 区, 果片总黄酮含量呈现  $A > C > B$  的趋势。对比 1、2 区, 果片 A 区的总黄酮含量为  $A1 < A2$ , B、C 区则呈现相反的趋势。其中 A2 区总黄酮含量最高, 为 11.13 mg/g, B2 区总黄酮含量最低, 为 3.12 mg/g。这可能是由于月柿果片分区后, 月柿果片不同部位的细胞壁破坏程度不同, 黄酮类化合物与组织基质间的黏结力相应减弱, 从而使月柿果片不同部位的总黄酮含量表现出较大的差异<sup>[28]</sup>。

### 2.5 月柿果片不同部位 PPO 活力的分布特征

PPO 是导致酶促褐变发生的关键酶。月柿果片不同部位 PPO 活力分布如图 6 所示。



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

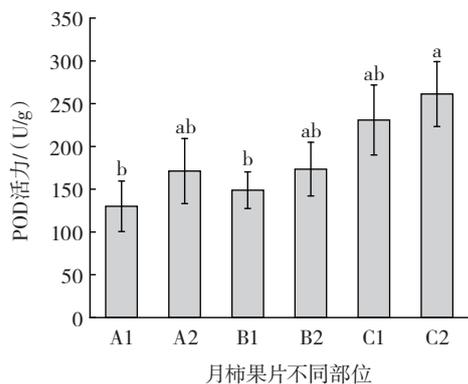
图6 月柿果片不同部位的 PPO 活力

Fig.6 PPO activity of different parts of persimmon slices

由图6可知,对比A、B、C区,果片PPO活性呈现B>C>A的趋势。对比1、2区,果片PPO活性1区<2区。其中,A1区PPO活力最低,为39.38 U/g,B2区PPO活力最高,为69.18 U/g。PPO活力存在差异可能是由于多酚类物质是PPO的主要作用底物,而月柿果片不同部位的总酚含量存在较大差异造成的<sup>[29]</sup>。

## 2.6 月柿果片不同部位 POD 活力的分布特征

POD是植物体内重要的保护酶,具有清除自由基的作用<sup>[30]</sup>。月柿果片不同部位的POD活力见图7。



不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

图7 月柿果片不同部位的POD活力

Fig.7 POD activity of different parts of persimmon slices

由图7可知,月柿果片不同部位POD活力差异明显。对比A、B、C区,果片由顶到底POD活力依次增加。对比1、2区,果片POD活力呈现1区<2区的趋势。其中,A1区POD活力最低,为130.13 U/g,C2区POD活力最高,为261.27 U/g。可能是因为月柿果片不同部位可溶性单宁含量不同<sup>[29]</sup>。张有林等<sup>[31]</sup>在对石榴皮的研究中发现,单宁是果皮褐变的底物,单宁含量和POD活力存在明显的负相关性。此外,研究发现板栗种子<sup>[32]</sup>、富士苹果<sup>[33]</sup>的褐变底物都是单宁。

## 2.7 主成分分析

本研究将测得的水分含量、总酚含量、可溶性单宁含量、总黄酮含量、PPO活力、POD活力共6个指标转化为6个主成分进行主成分分析,结果如图8所示。

本研究共提取出2个主成分,累计方差贡献率达83.1%,因此可以用这2个主成分代替上述6个指标反映月柿果片不同部位的整体情况。由图8可知,主成分1(PC1)的方差贡献率为57.0%,主要综合了总酚、可溶性单宁和总黄酮含量,即主要综合反映月柿果片酚类物质含量。同时,总酚、可溶性单宁和总黄酮3个指标间矢量的夹角很小,说明3个指标间存在明显的正相关关系。主成分2(PC2)的方差贡献率为26.1%,代表了水分含量的权重影响。此外,月柿果片的6个部位也被很好地区分出来,第一象限为A2区,第二象限为B2区,第三象限为B1区和C2区,第四象限为

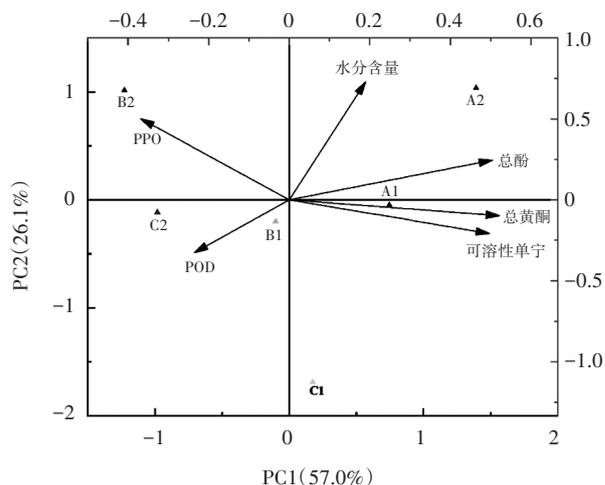


图8 月柿果片不同部位酚类物质及褐变酶的主成分分析

Fig.8 Principal component analysis of phenolic substances and browning enzymes in different parts of persimmon slices

A1区和C1区。同时,根据PC1可以看出月柿果片的B区和C区都呈现1区在前,2区在后的趋势,果片A区则呈现相反的趋势;根据PC2可以看出月柿果片A、B区和C区的2区均在1区的上方。主成分分析体现出月柿果片不同部位主要酚类物质及褐变酶活力的差异性。

## 3 结论

本文研究了月柿果片不同部位主要酚类物质及褐变酶活性的分布特征。对比月柿果片纵向方向由顶到底的A、B、C区,6个指标的变化趋势可归为5类:1)水分含量由顶到底依次减少;2)总酚和总黄酮含量变化趋势相同,均为两端的含量高于中间;3)可溶性单宁含量由顶到底在1区依次增加,在2区则呈现两端含量高于中间的趋势;4)PPO活力与总酚和总黄酮含量呈现完全相反的趋势;5)POD活力由顶到底依次增加。对比果片横向方向由外至内的1区和2区,6个指标可归为2类变化趋势:1)水分含量和PPO、POD活力均呈现内高外低;2)总酚、可溶性单宁和总黄酮含量在中下端呈现外高内低的趋势,在顶端则呈现内高外低。

本研究初步明确了新鲜月柿果片主要酚类物质及褐变酶活力的分布特征,发现其不同部位酚类含量差异较大,同时不同部位PPO、POD活力也有明显差异,为后续从酶促褐变的角度探讨微波干燥对月柿果片发生色泽变化的相关研究奠定了基础。

## 参考文献:

- 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.

- [2] 徐君驰, 张青林, 徐莉清, 等. 柿果脱涩机理研究新进展[J]. 园艺学报, 2016, 43(9): 1653-1664.  
XU Junchi, ZHANG Qinglin, XU Liqing, et al. Recent developments in deastringency mechanism of persimmon fruit[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2016, 43(9): 1653-1664.
- [3] 胡杰, 张杨凡, 王孟珂, 等. 柿种质资源果实 CO<sub>2</sub>脱涩特性评价[J]. 西北农业学报, 2023, 32(3): 377-385.  
HU Jie, ZHANG Yangfan, WANG Mengke, et al. Evaluation of CO<sub>2</sub> De-astringency for persimmon germplasm fruits[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2023, 32(3): 377-385.
- [4] 罗正荣. 国内外柿产业现状与发展趋势[J]. 落叶果树, 2018, 50(5): 1-4.  
LUO Zhengrong. Status and development trend of persimmon industry in China and abroad[J]. Deciduous Fruits, 2018, 50(5): 1-4.
- [5] SUH J H, VIRSOLVY A, GOUX A, et al. Polyphenols prevent lipid abnormalities and arterial dysfunction in hamsters on a high-fat diet: A comparative study of red grape and white persimmon wines[J]. Food & Function, 2011, 2(9): 555-561.
- [6] SHIN Y J, SHON M S, KIM G N, et al. Antioxidant and anti-adipogenic activities of persimmon tannins[J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(5): 1689-1694.
- [7] MATSUMOTO K, WATANABE Y, OHYA M A, et al. Young persimmon fruits prevent the rise in plasma lipids in a diet-induced murine obesity model[J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2006, 29(12): 2532-2535.
- [8] LACHOWICZ S, MICHALSKA A, LECH K, et al. Comparison of the effect of four drying methods on polyphenols in saskatoon berry[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 111: 727-736.
- [9] 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.  
PAN Yuyan, DUAN Zhenhua, ZHONG Jingni. Analysis of internal moisture changes of persimmon slices during intermittent microwave drying using low-field NMR[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 33-39.
- [10] 覃焱婷, 段振华, 韦珍珍, 等. 微波功率对月柿果片微波间歇干燥中水分迁移及品质的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(10): 1-5, 78.  
QIN Yanting, DUAN Zhenhua, WEI Zhenzhen, et al. Effects of microwave power on moisture migration and quality of persimmon slices during microwave intermittent drying[J]. Food & Machinery, 2021, 37(10): 1-5, 78.
- [11] WEI Z Z, DUAN Z H, TANG X X, et al. Effects of microwave drying on nutrient component and antioxidant activity of persimmon slices[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2022, 16(2): 1744-1753.
- [12] 韦珍珍, 段振华, 唐小闲, 等. 微波干燥工艺对月柿果片色泽质构及感官品质的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 168-175, 14.  
WEI Zhenzhen, DUAN Zhenhua, TANG Xiaoxian, et al. Effect of microwave drying process on the color, texture, and sensory quality of persimmon slices[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 168-175, 14.
- [13] 陆笛, 黄思婕, 龙明华, 等. ‘恭城月柿’不同生育期果实和叶片单宁组分含量的变化[J]. 广西植物, 2020, 40(5): 735-743.  
LU Di, HUANG Sijie, LONG Minghua, et al. Changes of tannin component content in persimmon fruits and leaves at different growth and development periods[J]. Guihaia, 2020, 40(5): 735-743.
- [14] 徐玲飞, 孙骏威, 林芳. 老鸦柿不同部位 3 种活性物质含量的比较[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(7): 4087, 4089.  
XU Lingfei, SUN Junwei, LIN Fang. Comparison on three active compounds content in different parts of *Diospyros rhombifolia* hemsli[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(7): 4087, 4089.
- [15] MOKRANI A, KRISA S, CLUZET S, et al. Phenolic contents and bioactive potential of peach fruit extracts[J]. Food Chemistry, 2016, 202: 212-220.
- [16] TESSMER M A, KLUGE R A, APPEZZATO-DA-GLÓRIA B. The accumulation of tannins during the development of ‘Giombo’ and ‘Fuyu’ persimmon fruits[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 172: 292-299.
- [17] IZCARA S, PERESTRELO R, MORANTE-ZARCERO S, et al. High throughput analytical approach based on  $\mu$ QuEChERS combined with UHPLC-PDA for analysis of bioactive secondary metabolites in edible flowers[J]. Food Chemistry, 2022, 393: 133371.
- [18] QI Y W, LIU J, LIU Y F, et al. Polyphenol oxidase plays a critical role in melanin formation in the fruit skin of persimmon (*Diospyros kaki* cv. ‘Heishi’)[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127253.
- [19] 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.  
CHEN Chaofeng. Study on remove of moisture, soluble tannin and nondestructive testing technology of dried persimmon[D]. Nanning: Guangxi University, 2019.
- [20] 林翔. 广西恭城月柿柿子干生产工艺的研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.  
LIN Shuo. Study on the production technology of dried persimmon in Gongcheng, Guangxi[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018.
- [21] CHUNG H S, KIM D H, KIM H S, et al. Quality comparison of dried slices processed from whole persimmons treated with different deastringency methods[J]. Food Science and Biotechnology, 2017, 26(2): 401-407.
- [22] 郭婷, 白向丽, 陈益能, 等. 干燥方式对大果山楂粉干燥速率及品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 122-125, 188.  
GUO Ting, BAI Xiangli, CHEN Yineng, et al. Effect of drying treatment methods on the drying rate and quality characteristics of big fruit hawthorn[J]. Food & Machinery, 2019, 35(10): 122-125, 188.
- [23] 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.  
CHEN Jiaxin. Study on heat pump drying characteristics and browning mechanism of persimmon slices during storage[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019.
- [24] 周诗晶. 热风-微波联合干燥柿子脆片工艺研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.  
ZHOU Shijing. Study on drying technology of persimmon chips by hot air-microwave combination[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [25] 刘淑君, 林晗, 董诗琴, 等. ‘凯特’芒果果肉热风干燥过程褐变机制研究[J]. 食品科技, 2022, 47(2): 49-54.  
LIU Shujun, LIN Han, DONG Shiqin, et al. Study on browning mechanism of kate mango pulp during drying[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(2): 49-54.
- [26] DUAN X W, LIU T, ZHANG D D, et al. Effect of pure oxygen atmosphere on antioxidant enzyme and antioxidant activity of harvested litchi fruit during storage[J]. Food Research International, 2011, 44(7): 1905-1911.
- [27] 李雪蕾, 丁兴萃, 张闪闪, 等. 不同光强下麻竹笋不同部位苦涩物质含量的变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(3): 161-166.  
LI Xuelei, DING Xingcui, ZHANG Shanshan, et al. The distribu-

- Aerobic plate count: GB 4789.2—2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [23] 杨修斌, 卢影, 郑建仙. 复合护色保鲜液抑制鲜切梨褐变的效果[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(11): 156-160.  
YANG Xiubin, LU Ying, ZHENG Jianxian. Study on effects of compound reagent on inhibiting browning of fresh-cut pears[J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(11): 156-160.
- [24] LI Z H, ZHANG Y X, GE H B. The membrane may be an important factor in browning of fresh-cut pear[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 265-270.
- [25] 王欢. 水杨酸及其甲酯在鲜切马铃薯保鲜中的应用与机制初探[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.  
WANG Huan. The application and mechanism of salicylic acid and its methyl ester in fresh-cut potato preservation[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [26] 刘婧, 史萌, 关文强, 等. 猕猴桃货架期间品质动力学及寿命预测模型[J]. 包装工程, 2019, 40(9): 6-14.  
LIU Jing, SHI Meng, GUAN Wenqiang, et al. Quality kinetics and life prediction model of kiwifruit during shelf life[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(9): 6-14.
- [27] 庞坤, 胡文忠, 王艳颖, 等. 切割伤害对苹果营养成分及褐变相关酶活性变化的影响[J]. 食品科技, 2008, 33(4): 37-41.  
PANG Kun, HU Wenzhong, WANG Yanying, et al. Effect of mechanical damage on the nutritional compositions and enzymatic activity related to browning in fresh-cut Fuji apple[J]. Food Science and Technology, 2008, 33(4): 37-41.
- [28] 王艳颖, 刘程惠, 田密霞, 等. 氯化钙处理对鲜切芹菜生理与品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2458-2463.  
WANG Yanying, LIU Chenghui, TIAN Mixia, et al. Effects of calcium chloride treatment on the physiologic quality of fresh-cut celery[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(7): 2458-2463.
- [29] WHITAKER J R, LEE C Y. Recent advances in chemistry of enzymatic browning[M]//LEE C Y, WHITAKER J R, eds. ACS Symposium Series. Washington, DC: American Chemical Society, 1995: 2-7.
- [30] LEE J Y, PARK H J, LEE C Y, et al. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents[J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36(3): 323-329.

加工编辑: 王雪  
收稿日期: 2023-09-06

(上接第6页)

- tions of bitter and astringent taste compounds in the bamboo shoot of *Dendrocalamus latiflorus* under different light intensities[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2015, 39(3): 161-166.
- [28] GONZÁLEZ C M, LLORCA E, QUILES A, et al. An *in vitro* digestion study of tannins and antioxidant activity affected by drying "Rojo Brillante" persimmon[J]. LWT - Food Science and Technology, 2022, 155: 112961.
- [29] 王挥, 陈卫军, 龙雪峰, 等. 椰子不同部位 LPS、PPO 以及 POD 活性分布的研究[J]. 广东农业科学, 2013, 40(16): 101-103.  
WANG Hui, CHEN Weijun, LONG Xuefeng, et al. Studies on activity distribution of LPS, PPO and POD in different parts of coconut [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(16): 101-103.
- [30] 韩卫娟, 曹坤, 傅建敏, 等. 柿脱涩过程中褐变及相关酶活性的变化规律[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(10): 92-99.  
HAN Weijuan, CAO Kun, FU Jianmin, et al. Browning and related enzyme activities in de-astringent treatment of persimmon[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2021, 49(10): 92-99.
- [31] 张有林, 张润光. 石榴贮藏果皮褐变机理的研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(3): 573-581.  
ZHANG Youlin, ZHANG Runguang. Study on the mechanism of browning of pomegranate peel in different storage conditions[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(3): 573-581.
- [32] 陶月良, 林叶, 项小洁, 等. 板栗种子褐变底物及其在不同组织中的含量差异[J]. 河北林果研究, 2002, 17(2): 122-125.  
TAO Yueliang, LIN Ye, XIANG Xiaojie, et al. The browning substrate and its contents in different tissues of chestnut seeds[J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2002, 17(2): 122-125.
- [33] 寇莉苹, 刘兴华, 丁武, 等. 富士苹果贮藏期间果肉褐变的生化特性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(S1): 61-64.  
KOU Liping, LIU Xinghua, DING Wu, et al. Study on biochemical characteristics of flesh browning of Fuji apple during storage[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2002, 30(S1): 61-64.

责任编辑: 张璐  
收稿日期: 2023-02-09