

# 微波干燥对月柿果片不同区域酚类含量及色泽的影响

侯文翼<sup>1,2</sup>, 段振华<sup>2\*</sup>, 易弋<sup>1</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:** 以月柿为原料, 进行区域划分后, 探究新鲜和不同微波干燥时间 (11、13、15 min)、功率 (415、485、555 W)、装载量 (2.15、2.35、2.55 kg/m<sup>2</sup>) 下月柿果片六个区域 (A1、A2、B1、B2、C1、C2) 水分、色泽和不同酚类组成及含量的变化。结果表明: 新鲜月柿果片 A2 区域水分、总酚、总类黄酮、总黄烷醇及柿单宁含量最高, 分别为 81.92%、125.68、38.58、12.77、111.29 mg/g; 微波干燥使月柿果片不同区域水分和不同酚类含量总体均降低, 色泽由黄色变为棕黑色; 微波干燥过程中, B2 区域变化特征最显著, 水分含量最低, 最先出现褐变, 随后蔓延至其它区域。不同指标相关性分析表明: 总酚和柿单宁含量与亮度值 ( $L^*$ ) 呈显著正相关 ( $P<0.05$ ), 和总色差 ( $\Delta E$ ) 呈显著负相关 ( $P<0.05$ )。微波干燥会造成月柿果片色泽劣变, 不再具备新鲜月柿色泽。其色泽变化与酚类自氧化反应有关, 类黄酮类和黄烷醇类化合物不是造成月柿果片色泽劣变的原因。研究结果为月柿干制利用提供参考, 进一步从酚类角度研究调控月柿色泽变化的方法

**关键词:** 月柿果片; 不同区域; 微波干燥; 酚类含量; 色泽变化

文章编号: 1673-9078(2024)10-259-269

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.10.1203

## Effect of Microwave Drying on the Phenolic Content and Color Changes in Different Regions of Persimmon Slices

HOU Wenyi<sup>1,2</sup>, DUAN Zhenhua<sup>2\*</sup>, YI Yi<sup>1</sup>

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

**Abstract:** Using persimmons as raw materials, the changes in moisture, color, and phenolic composition and content in six regions (A1, A2, B1, B2, C1, C2) of persimmon slices were investigated under fresh and different microwave drying times (11, 13, 15 min), powers (415, 485, 555 W), and loading capacities (2.15, 2.35, 2.55 kg/m<sup>2</sup>). The results showed that the contents of water, total phenolics, total flavonoids, total flavanols, and persimmon tannins in the A2 region of fresh persimmon slices were the highest at 81.92%, 125.68, 38.58, 12.77, and 111.29 mg/g, respectively. Microwave drying was

引文格式:

侯文翼,段振华,易弋.微波干燥对月柿果片不同区域酚类含量及色泽的影响[J].现代食品科技,2024,40(10):259-269.

HOU Wenyi, DUAN Zhenhua, YI Yi. Effect of microwave drying on the phenolic content and color changes in different regions of persimmon slices [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(10): 259-269.

收稿日期: 2023-10-09

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

作者简介: 侯文翼 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工, E-mail: hwy980604@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

found to reduce the overall water and phenolic contents in different regions of persimmon slices, and the color changed from yellow to brownish black. During the microwave drying, changes in the B2 region were the most pronounced, with the lowest water content. Browning first occurred in the B2 region and then spread to other regions. Correlation analysis showed that the contents of total phenolics and persimmon tannins were significantly and positively correlated with brightness ( $L^*$ ) ( $P < 0.05$ ) and significantly and negatively correlated with the total chromatic aberration ( $\Delta E$ ) ( $P < 0.05$ ). Microwave drying can cause the color of persimmon slices to deteriorate, and microwave-dried persimmon slices can no longer have the color of fresh persimmon. The color change is related to the self-oxidation of phenolics, and flavonoids and flavanols are not responsible for the color deterioration of persimmon slices. The results of this study can provide a reference for the drying of persimmon. Further studies should be conducted on the regulation of color changes in persimmon from the perspective of phenolics.

**Key words:** persimmon slices; different regions; microwave drying; phenolic content; color change

柿子 (*Diospyros Kaki* L.f) 属于柿科 (*Ebenaceae*) 柿属 (*Diospyros* L.), 为多年生落叶柿科植物的果实<sup>[1]</sup>。其中恭城月柿盛产于广西恭城县, 属于涩柿品种, 具有色泽明亮、口感甜脆、皮薄肉厚等特点, 含有糖、酸、维生素、胡萝卜素等营养成分, 具有较高的营养价值<sup>[2]</sup>。但柿子收获时间短, 又属呼吸跃变型果实, 不易贮藏及运输, 因此对其加工制品的相关研究成为一大热点<sup>[3]</sup>。干燥脱水是食品保藏和果品加工的常见方式, 不同的干制方式对柿子加工产品质量和特性的影响不同<sup>[4]</sup>。其中微波干燥具有加热时间短、干燥速度快、干制产品成分损失少等特点, 被应用于多种果品的干制<sup>[5,6]</sup>。冉思婷等<sup>[7]</sup>比较研究了不同干燥方式对火龙果果皮粉的贮藏品质的影响, 认为微波干燥的果皮粉总酚含量最高, 对花青素和维生素 C 保留最好; 王晓艳等<sup>[8]</sup>在比较不同干燥方式对菠萝片品质和挥发性风味的影响时发现, 微波干燥后的菠萝片因受热不均会产生带有焦糖香味的物质。赵红霞等<sup>[9]</sup>在研究微波干燥条件对杏脯干燥特性与品质的影响时发现, 在微波对流耦合干燥机中采用控温静态干燥方式, 杏脯干燥时间最短且品质最佳; Dai 等<sup>[10]</sup>在研究微波间歇干燥苹果片特性及建模时发现, 干燥时间随微波功率增加而减少, 随苹果片切片厚度增加而增加, 且威布尔分布模型可以拟合所有条件下的干燥曲线。除此以外, 微波干燥还作为辅助干燥方式被应用于葡萄<sup>[11]</sup>、柚子<sup>[12]</sup>、山楂<sup>[13]</sup>中。

随着技术的发展, 微波干燥也逐渐被应用于月柿干制中<sup>[14,15]</sup>。本实验室在探究微波干燥对月柿果片品质影响过程中, 发现月柿果片逆边角效应现象<sup>[16,17]</sup>。在大多数干燥过程中, 果品中酚类化合物易与氧气和酶发生反应形成黑棕色化合物继而转变成黑色素等物质, 或因受热降解褪色, 使干制品失

去其原有明亮色泽<sup>[18]</sup>。月柿与其它水果相比, 含有丰富的酚类物质, 包括酚酸类化合物、类黄酮类化合物及单宁类化合物等<sup>[19]</sup>。本实验室在探究月柿果片多酚氧化酶、过氧化物酶及水分分布等因素对其微波干燥过程的褐变影响情况时<sup>[20,21]</sup>, 发现酶促褐变不是造成月柿果片微波干燥过程中色泽劣变的主要原因。

在此基础上, 本文在月柿果片微波干燥后对其进行不同区域划分, 测定不同区域的水分、酚类物质含量以及色泽参数, 比较月柿果片不同区域间的差异, 探究不同酚类物质含量和色泽的变化规律以及两者间的关系, 探讨酚类物质构成对颜色稳定性的影响, 为微波干燥月柿果片的颜色控制提供理论依据, 提高月柿干制品品质, 促进合理有效开发柿资源。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜恭城月柿购于广西贺州市泰兴连锁超市有限责任公司, 挑选大小均匀、成熟度一致、无污染的月柿用于干燥实验。

试剂: 福林酚上海源叶生物科技有限公司; 没食子酸、儿茶素、芦丁、香草醛、4-二甲基氨基肉桂醛 (DMACA) 上海易恩化学技术有限公司; 盐酸、硫酸、甲醇、无水乙醇、氢氧化钠、亚硝酸钠、无水碳酸钠、结晶氯化铝广东光华科技股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

G70D20CN1P-D2 (S0) 微波炉, 广东格兰仕微波生活电器制造有限公司; MX-50 水分测定仪,

日本艾安德公司；CR-400 色彩色差计，日本柯尼卡美能达公司；Eppendorf Centrifuge 5804 R 离心机，德国艾本德股份公司；UV-1600PC 型紫外可见分光光度计，上海美谱达仪器有限公司；XM-300UV 智能静音超声波清洗机，小美超声仪器（昆山）有限公司；AKL 304 不锈钢切果器，广东省阳江市尚品有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 预处理

将月柿去蒂、清洗、削皮后，使切果器对准月柿果蒂处并固定好位置，均匀向下按压将月柿切成外沿厚度为 2 cm 的果片，待进行微波干燥。

#### 1.3.2 微波干燥样品制备

在一定微波功率、时间、装载量范围内分别对月柿果片进行微波干燥，观察果片褐变程度，如图 1 所示。分别以月柿果片无明显褐变、轻度褐变、重度褐变为参考，确定不同微波条件参数，同时设置未干燥（新鲜）样品，分别编号，如表 1 所示。上述所有干燥过程分别重复 10 次，随机取样备用。



图 1 月柿果片不同褐变程度

Fig.1 Different browning degrees of persimmon slices

注：图中从左至右分别为新鲜、无明显褐变、轻度褐变、重度褐变的月柿果片。

表 1 月柿果片不同微波条件参数

Table 1 Parameters of different microwave conditions for persimmon slices

褐变程度	微波干燥时间/min	微波干燥装载量/(kg/m <sup>2</sup> )	微波干燥功率/W	编号
果片无明显褐变	11	2.35	485	DS1
果片轻度褐变	13	2.35	485	DS2
果片重度褐变	15	2.35	485	DS3
果片无明显褐变	13	2.55	485	DS4
果片重度褐变	13	2.15	485	DS5
果片无明显褐变	13	2.35	415	DS6
果片重度褐变	13	2.35	555	DS7

#### 1.3.3 区域划分

微波干燥处理后，月柿果片按照原果实的外沿

在右、内沿在左的方式摆放，分别在月柿果片竖向 1/2 处、横向 1/3 和 2/3 处进行切分，总共切分三次，分成 6 个区域。由顶端至低端分别编号为 A、B、C，由右至左分别编号为 1、2，由此 6 个区域别编号为 A1、A2、B1、B2、C1、C2（新鲜月柿样品按照同样方式划分区域），如图 2 所示。于零下 20 °C 保存，待测。

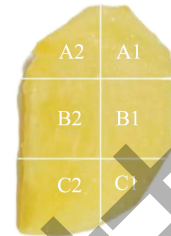


图 2 月柿果片不同区域划分示意图

Fig.2 Division of different parts of persimmon slices

注：图中白色竖线及横线表示切分线，A1、A2、B1、B2、C1、C2 为 6 个切分区域。

#### 1.3.4 不同酚类提取

将干燥后划分好区域的月柿样品进行液氮速冻后研磨成粉，分别快速称量 1 g 粉状不同样品于离心管中，加入 20 mL 酸化甲醇提取液（100 mL 甲醇中含有浓度为 1 mol/L HCl），在 35 °C、40 kHz 下避光超声 30 min。提取物在 10 000 r/min、4 °C 下离心 20 min，过滤后所得滤渣重复提取 1 次，合并滤液于零下 20 °C 保存，用于测定总酚、总类黄酮、总黄烷醇及柿单宁<sup>[22,23]</sup>。

#### 1.3.5 不同酚类含量测定

总酚含量：采用福林酚法测定<sup>[24]</sup>，使用紫外可见分光光度计在 765 nm 处测定吸光度，结果以没食子酸等价值表示（mg/g），重复测定 3 次。以吸光度 OD 值 x 为横坐标，没食子酸浓度 y 为纵坐标，建立没食子酸标准曲线为  $y=0.3461x-0.0049$ ， $R^2=0.9984$ 。

总类黄酮含量：采用铝盐显色法测定<sup>[25]</sup>，使用紫外可见分光光度计在 506 nm 处测定吸光度，结果以芦丁等价值表示（mg/g），重复测定 3 次。以吸光度 OD 值 x 为横坐标，芦丁浓度 y 为纵坐标，建立芦丁标准曲线为  $y=1.775x-0.0192$ ， $R^2=0.9992$ 。

总黄烷醇含量：采用 4-二甲基氨基肉桂醛法测定<sup>[26]</sup>，使用紫外可见分光光度计在 640 nm 处测定吸光度，结果以儿茶素等价值表示（mg/g），重复测定 3 次。以吸光度 OD 值 x 为横坐标，儿茶素浓度 y 为纵坐标，建立儿茶素标准曲线为  $y=0.0589x-0.0024$ ， $R^2=0.9983$ 。

柿单宁含量：采用香草醛-硫酸法测定<sup>[27]</sup>，使用



紫外可见分光光度计在 500 nm 处测定吸光度，结果以儿茶素等价值表示 (mg/g)，重复测定 3 次。以吸光度 OD 值  $x$  为横坐标，儿茶素浓度  $y$  为纵坐标，建立儿茶素标准曲线为  $y=0.413x-0.0371$ ， $R^2=0.9965$ 。

### 1.3.6 水分含量测定

采用水分测定仪在 101.30 kPa、105.0 °C 条件下进行测定，每个样品平行测定 3 次<sup>[28]</sup>。

### 1.3.7 色泽测定

随机选择月柿果片不同区域微波干燥样品及新鲜样品，液氮冷冻后研磨为粉末，迅速利用色差计进行色泽测定，每个样品重复测定 3 次，确定  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值，并计算  $\Delta E$ <sup>[29]</sup>。

$$\Delta E = \sqrt{(L_i^* - L_0^*)^2 + (a_i^* - a_0^*)^2 + (b_i^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

式中：

$L_i^*$ 、 $a_i^*$ 、 $b_i^*$ ——干燥样品色泽测定值；

$L_0^*$ 、 $a_0^*$ 、 $b_0^*$ ——新鲜样品色泽测定值。

### 1.3.8 数据处理

所有数据采用 SPSS 26 以及 Excel 进行统计分析，使用 Origin 2021 进行绘图，并采用 ANAVO 检验进行显著性分析 ( $P < 0.05$  表示差异显著)，不同酚类含量均以干基计算，每项测定指标均设 3 次生物学重复。

## 2 结果与分析

### 2.1 微波干燥对不同区域水分的影响

由表 2 可知，新鲜月柿果片不同区域水分含量

在 77.38%~81.92% 之间，A 区域水分含量较高，但 A1 与 A2 间无明显差异，其余四个区域间也无明显差异 ( $P > 0.05$ )。而微波干燥下六个区域相比，B2 区域水分含量最低。微波时间增加至 15 min (DS3)、功率减小至 2.15 kg/m<sup>2</sup> (DS5)、功率增加至 555 W (DS7) 时，B2 区域水分含量分别降至 7.16%、7.4%、7.55%。

### 2.2 微波干燥对不同区域色泽的影响

色泽是干制品的重要感官指标之一，是体现干制品综合品质和决定消费者接受程度的重要因素。由图 3 可以看出，与新鲜样品相比，微波干燥对月柿果片色泽影响明显。随着微波时间增加 (FS→DS1→DS2→DS3) 或装载量减小 (FS→DS4→DS2→DS5) 或功率增大 (FS→DS6→DS2→DS7)，都是 B2 区域最先出现褐变，随后蔓延至其它区域；除 B2 外其它五个区域，在干燥至 13 min、2.15 kg/m<sup>2</sup>、485 W 时 (DS2) 并未出现明显褐变，当时间增加至 15 min (DS3)、功率减小至 2.15 kg/m<sup>2</sup> (DS5)、功率增加至 555 W (DS7) 时才出现明显褐变，且此时褐变程度比 B2 区域低。可见，不同微波条件下，月柿果片六个区域都出现了褐变情况，但不同区域出现褐变快慢不同。这种现象与微波加热边角效应相反，可能由于月柿果片水分含量不均匀，且与其它区域不同的是，B2 区域位于原月柿果实中心部位，为纤维束结构，会出现空腔现象，因此干燥时容易出现焦化或炭化现象；也可能由于不同区域间酚类含量不同，发生酚类褐变反应快慢不同。

表 2 月柿果片微波干燥不同区域水分变化

Table 2 Moisture changes in different regions during microwave drying of persimmon slices

处理编号	月柿果片不同区域水分质量分数/%					
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
FS	80.09 ± 0.005 <sup>ab</sup>	81.92 ± 0.008 <sup>a</sup>	79.02 ± 0.013 <sup>bc</sup>	79.87 ± 0.014 <sup>abc</sup>	77.61 ± 0.014 <sup>bc</sup>	77.38 ± 0.008 <sup>c</sup>
DS1	53.58 ± 0.011 <sup>b</sup>	59.23 ± 0.008 <sup>a</sup>	36.75 ± 0.003 <sup>c</sup>	36.18 ± 0.017 <sup>c</sup>	39.94 ± 0.015 <sup>d</sup>	48.53 ± 0.001 <sup>f</sup>
DS2	30.86 ± 0.009 <sup>c</sup>	41.71 ± 0.005 <sup>a</sup>	26.86 ± 0.002 <sup>d</sup>	16.57 ± 0.01 <sup>f</sup>	24.52 ± 0.006 <sup>c</sup>	40.19 ± 0.007 <sup>b</sup>
DS3	22.42 ± 0.01 <sup>c</sup>	38.07 ± 0.003 <sup>a</sup>	9.77 ± 0.003 <sup>c</sup>	7.16 ± 0.001 <sup>f</sup>	12.28 ± 0.009 <sup>d</sup>	26.19 ± 0.005 <sup>b</sup>
DS4	46.11 ± 0.001 <sup>b</sup>	52.12 ± 0.002 <sup>a</sup>	34.93 ± 0.022 <sup>c</sup>	34.03 ± 0.002 <sup>c</sup>	39.22 ± 0.011 <sup>d</sup>	45.17 ± 0.002 <sup>b</sup>
DS5	30.57 ± 0.011 <sup>b</sup>	37.57 ± 0.001 <sup>a</sup>	13.09 ± 0.006 <sup>d</sup>	7.4 ± 0.002 <sup>c</sup>	14.74 ± 0.001 <sup>c</sup>	29.66 ± 0.001 <sup>b</sup>
DS6	41.5 ± 0.005 <sup>c</sup>	51.22 ± 0.002 <sup>a</sup>	34.18 ± 0.002 <sup>d</sup>	22.05 ± 0.003 <sup>f</sup>	25.69 ± 0.003 <sup>c</sup>	46.81 ± 0.003 <sup>b</sup>
DS7	22.07 ± 0.001 <sup>c</sup>	33.82 ± 0.006 <sup>a</sup>	8.09 ± 0.001 <sup>d</sup>	7.55 ± 0.001 <sup>d</sup>	9.4 ± 0.008 <sup>d</sup>	30.57 ± 0.023 <sup>b</sup>

注：同行不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )；FS：新鲜样品；DS1、DS4、DS6：无明显褐变；DS2：轻度褐变；DS3、DS5、DS7：重度褐变。

表3 月柿果片微波干燥不同区域色泽参数变化

Table 3 Changes in color parameters of different regions in microwave drying of persimmon slices

处理编号	不同参数	月柿果片不同区域色泽参数值					
		A1	A2	B1	B2	C1	C2
FS	$L^*$	$76.12 \pm 0.8^a$	$75.08 \pm 0.75^{ab}$	$72.6 \pm 1.24^{bc}$	$70.07 \pm 0.16^{cd}$	$70.43 \pm 1.95^{cd}$	$69.07 \pm 1.19^d$
	$a^*$	$8.26 \pm 0.35^b$	$9.6 \pm 0.74^a$	$8.41 \pm 0.17^b$	$8.89 \pm 0.46^b$	$8.47 \pm 0.34^a$	$9.4 \pm 0.56^a$
	$b^*$	$43.69 \pm 1.84^{bc}$	$43.35 \pm 2.12^c$	$47.75 \pm 2.57^{ab}$	$47.32 \pm 0.57^{abc}$	$49.55 \pm 1.98^a$	$51.15 \pm 1.06^a$
DS1	$L^*$	$60.51 \pm 0.64^a$	$56.8 \pm 0.68^{bc}$	$60.63 \pm 0.87^a$	$58.58 \pm 1.86^{ab}$	$55.24 \pm 0.7^{cd}$	$54.41 \pm 0.88^d$
	$a^*$	$6.81 \pm 0.78^{cd}$	$7.99 \pm 0.64^{abc}$	$7.9 \pm 0.48^a^b$	$7.44 \pm 1.37^a$	$4.76 \pm 0.68^d$	$5.26 \pm 1.85^{bcd}$
	$b^*$	$39.59 \pm 1.21^{ab}$	$35.72 \pm 2.11^{ab}$	$42.37 \pm 3.06^a$	$37.02 \pm 4.2^{ab}$	$34.22 \pm 2.26^b$	$33.79 \pm 3.89^b$
	$\Delta E$	$16.23 \pm 0.51^{bc}$	$19.98 \pm 0.23^{abc}$	$13.68 \pm 0.77^c$	$15.63 \pm 3.96^c$	$22.06 \pm 2.33^{ab}$	$23.22 \pm 4.69^a$
DS2	$L^*$	$55.92 \pm 2.23^b$	$50.93 \pm 0.72^c$	$57.43 \pm 1.22^{ab}$	$48.89 \pm 0.9^c$	$53.83 \pm 0.21^a$	$52.33 \pm 0.27^{ab}$
	$a^*$	$6.76 \pm 0.97^c$	$15.09 \pm 1.02^a$	$12.3 \pm 1.84^b$	$13.66 \pm 2.47^{ab}$	$11.36 \pm 1.18^{ab}$	$8 \pm 0.65^c$
	$b^*$	$38.91 \pm 0.17^a$	$35.58 \pm 1.58^a$	$40.97 \pm 2.93^a$	$27.82 \pm 5.18^b$	$41.94 \pm 2.71^a$	$39.61 \pm 0.31^a$
	$\Delta E$	$20.91 \pm 2.87^{bc}$	$26.1 \pm 0.99^{ab}$	$17.37 \pm 1.55^{cd}$	$29.55 \pm 3.84^a$	$13.67 \pm 3.04^d$	$15.62 \pm 1.38^{cd}$
DS3	$L^*$	$53.83 \pm 0.56^a$	$33.85 \pm 1.16^d$	$38.22 \pm 0.99^c$	$24.28 \pm 0.47^c$	$45.84 \pm 1.27^b$	$37.12 \pm 1.21^c$
	$a^*$	$8.53 \pm 0.91^c$	$10.49 \pm 1.44^b$	$13.51 \pm 0.26^a$	$6.9 \pm 0.61^c$	$14.77 \pm 0.8^a$	$13.46 \pm 0.29^a$
	$b^*$	$39.29 \pm 2.3^a$	$17.63 \pm 1.51^c$	$18.61 \pm 0.48^c$	$7.15 \pm 1.36^d$	$25.43 \pm 0.93^b$	$18.22 \pm 0.63^c$
	$\Delta E$	$22.75 \pm 0.48^c$	$48.68 \pm 1.1^b$	$45.46 \pm 0.6^c$	$60.97 \pm 0.55^a$	$35.16 \pm 1.39^d$	$46.07 \pm 0.86^c$
DS4	$L^*$	$60.67 \pm 0.73^b$	$58.34 \pm 1.06^c$	$62.74 \pm 0.97^a$	$58.7 \pm 0.93^c$	$57.37 \pm 0.62^d$	$56.09 \pm 0.61^d$
	$a^*$	$8.21 \pm 1.26^a$	$9.47 \pm 1.21^a$	$9.4 \pm 0.22^a$	$10.07 \pm 0.9^a$	$9.77 \pm 0.72^a$	$9.65 \pm 2.55^a$
	$b^*$	$46.98 \pm 1.75^a$	$46.78 \pm 2.81^a$	$45.67 \pm 2.01^{ab}$	$44.76 \pm 2.48^{ab}$	$43.41 \pm 0.74^{ab}$	$41.2 \pm 0.78^b$
	$\Delta E$	$15.88 \pm 1.29^a$	$17.37 \pm 1.33^a$	$10.53 \pm 1.54^c$	$11.98 \pm 1.21^{bc}$	$14.61 \pm 0.75^{ab}$	$16.48 \pm 0.78^a$
DS5	$L^*$	$52.74 \pm 1.5^a$	$35.18 \pm 3.02^c$	$34.69 \pm 0.68^c$	$26.02 \pm 1.18^d$	$47.07 \pm 1.86^c$	$37.36 \pm 0.94^c$
	$a^*$	$10.92 \pm 1.06^c$	$13.1 \pm 1.18^{ab}$	$13.67 \pm 1.05^{ab}$	$9.9 \pm 0.94^d$	$15.2 \pm 1.03^a$	$12.98 \pm 0.11^b$
	$b^*$	$36.7 \pm 2.5^a$	$19.75 \pm 4.48^{bc}$	$18.52 \pm 1.14^c$	$11.47 \pm 1.48^d$	$24.74 \pm 1.72^b$	$22.35 \pm 0.78^{bc}$
	$\Delta E$	$24.75 \pm 2.61^d$	$46.62 \pm 5.75^b$	$48.28 \pm 1.78^b$	$56.82 \pm 2^a$	$34.87 \pm 2.31^c$	$43.02 \pm 1.89^b$
DS6	$L^*$	$60.14 \pm 2.21^a$	$62.65 \pm 0.51^a$	$58.6 \pm 3.79^a$	$52.73 \pm 2.27^b$	$54.87 \pm 1.88^b$	$53.98 \pm 1.77^b$
	$a^*$	$3.73 \pm 0.97^d$	$5.29 \pm 0.56^c$	$5.62 \pm 0.74^b$	$6.71 \pm 0.58^{ab}$	$6.37 \pm 0.6^{ab}$	$7.38 \pm 0.32^a$
	$b^*$	$40.95 \pm 1.57^b$	$45.04 \pm 1.29^a$	$34.45 \pm 1.78^c$	$34.41 \pm 2.05^c$	$33.96 \pm 2.55^c$	$34.3 \pm 1.65^c$
	$\Delta E$	$17.12 \pm 2.55^{bc}$	$13.51 \pm 1.19^c$	$23.49 \pm 4.55^{ab}$	$21.77 \pm 3.31^{ab}$	$25.38 \pm 2.53^a$	$24.84 \pm 2.32^a$
DS7	$L^*$	$51.69 \pm 0.36^a$	$35.72 \pm 0.61^c$	$36.7 \pm 1.06^c$	$27.94 \pm 1.17^c$	$42.24 \pm 1^b$	$32.99 \pm 1.86^d$
	$a^*$	$10.22 \pm 0.49^c$	$13.65 \pm 1.36^a$	$13.07 \pm 0.87^{ab}$	$9.19 \pm 1.09^c$	$14.47 \pm 1.9^a$	$12.47 \pm 0.8^{ab}$
	$b^*$	$43.69 \pm 1.28^a$	$19.94 \pm 1.01^c$	$18.9 \pm 2.26^c$	$8.78 \pm 0.64^c$	$25.57 \pm 1.5^b$	$14.43 \pm 2.58^d$
	$\Delta E$	$19.28 \pm 0.28^c$	$46.05 \pm 1.95^c$	$46.48 \pm 2.68^c$	$57.12 \pm 1.24^a$	$37.68 \pm 2.17^d$	$51.58 \pm 2.95^b$

注：同行不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。FS：新鲜样品；DS1、DS4、DS6：无明显褐变；DS2：轻度褐变；DS3、DS5、DS7：重度褐变。

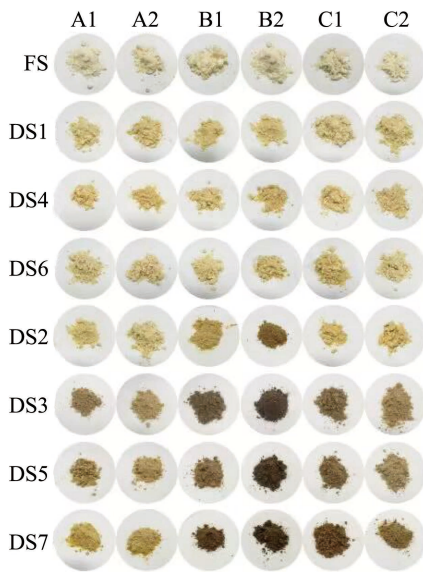


图3 月柿果片微波干燥不同区域褐变程度情况

Fig.3 Browning degrees in different areas of persimmon slices during microwave drying

由表3可知,与鲜样相比,微波干燥对月柿果片六个区域色泽的影响具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。随着微波时间增加 (FS→DS1→DS2→DS3) 或装载量减小 (FS→DS4→DS2→DS5) 或功率增大 (FS→DS6→DS2→DS7), 六个区域的  $L^*$  值都呈递减趋势,  $\Delta E$  值都呈递增趋势, 色泽由黄色逐渐转变为棕黑色, 表明微波干燥会致使其色泽越来越暗且色泽变化越来越明显, 这种色泽暗化趋势与蓝莓、苹果、柚子等果品在微波干燥中的变化一致<sup>[30-32]</sup>。三个微波参数 (时间、功率、装载量) 变化下, 六个区域间  $L^*$  值和  $b^*$  值相比, 在无明显褐变时期 (DS1、DS4、DS6) 都无显著性差异, 而当出现轻度褐变 (DS2) 和重度褐变时期 (DS3、DS5、DS7) 时, B2 区域显著低于其它区域, 表明微波干燥对月柿果片 B2 区域的影响更大, 且 B2 区域的色泽变化最显著; 其它五个区域在干燥至 13 min、 $2.15 \text{ kg/m}^2$ 、485 W 时 (DS2)  $L^*$  值和  $b^*$  值无显著性变化, 当时间增加至 15 min (DS3)、装载量减小至  $2.15 \text{ kg/m}^2$  (DS5)、功率增加至 555 W (DS7) 时显著减小, 表明与新鲜月柿相比, 六个区域在干燥终点全部失去原有鲜艳黄色色泽, 已不具备新鲜样品良好的色泽情况, 发生了色泽劣变, 且在微波干燥过程中, B2 区域最先失去黄色色泽, 发生色泽改变速度最快。月柿果片六个区域  $a^*$  值在干燥过程中, 无显著规律性变化趋势, 处于 3.73 至 15.20 范围, 表明其不具备红色色泽。

研究数据还体现了在四个色泽参数中,  $L^*$  值与  $\Delta E$  值能够更加有效衡量月柿果片微波干燥过程中的色泽变化情况。

### 2.3 微波干燥对不同区域总酚含量的影响

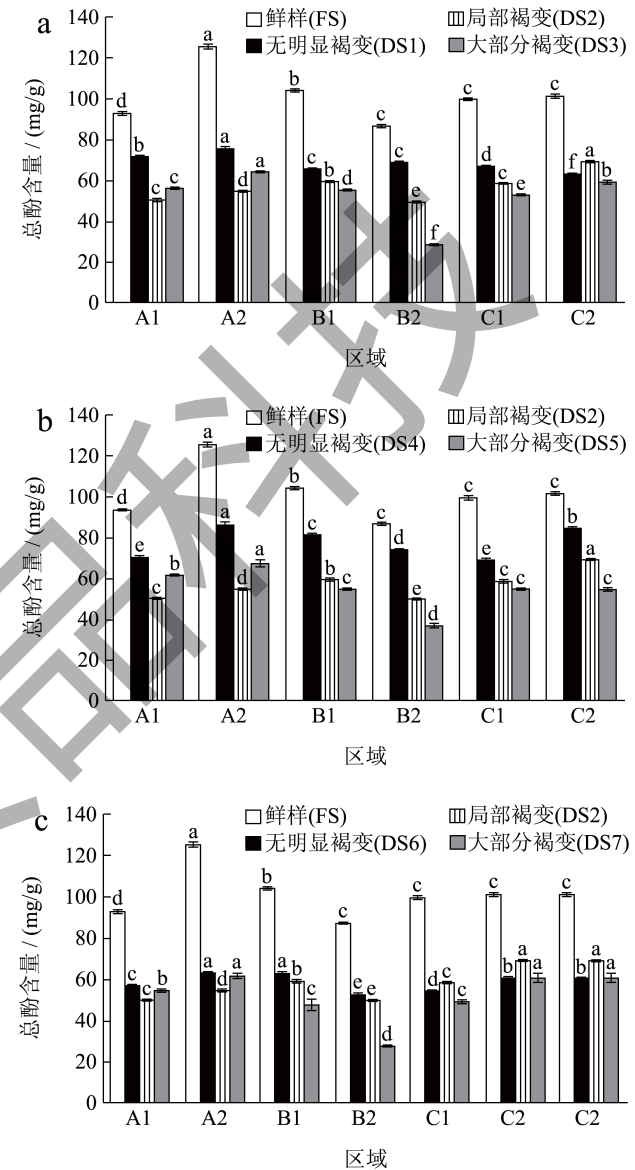


图4 月柿果片微波干燥不同区域总酚含量变化

Fig.4 Changes in total phenol content in different regions of persimmon slices during microwave drying

注: 图 a、图 b 和图 c 分别表示干燥时间增加、干燥装载量减小和干燥功率增加时的总酚含量变化情况。

由图4可知,新鲜月柿果片不同区域的总酚含量介于  $86.96 \text{ mg/g}$  与  $125.68 \text{ mg/g}$  之间, A2 区域含量最高, B2 区域含量最少, A1、A2、B1、B2 和 C1 五个区域总酚含量具有显著性差异, 而 C2 区域总酚含量与 C1 区域十分接近。可见新鲜月柿果片

可能由于其不同区域结构不同或水分含量不同,总酚含量也具有显著差异;与新鲜月柿果片相比,微波干燥下的不同区域总酚含量更低,且不同微波条件导致总酚含量减少程度也不一致。整体来看,基于功率变化的干燥终点,月柿果片六个区域总酚含量更低、与鲜样差值更大,且干燥过程中下降的更快,这表明相较其它两个干燥因素,微波功率对于月柿果片不同区域的总酚含量影响程度更高。随着微波时间增加或装载量减小或功率增加,A2区域的总酚含量下降的最多,在干燥终点与鲜样差值分别为61.26、58.51、63.62 mg/g;B2区域排第二位,分别为58.30、49.93、59.30 mg/g,但B2区域在干燥终点总酚含量最低,可能由于其最先发生褐变,消耗了酚类物质,但褐变过程十分复杂,其还受温度、水分等多种因素影响。由图4a和4c可以看出,当微波时间由13 min(DS2)增至15 min(DS3)以及微波功率由485 W(DS2)增至555 W(DS7)时,A1、A2区域总酚含量都有微量增高趋势,可能由于A区域的水分含量更高,在微波作用下水分子高频运动,产生的热量累积,微波时间和功率增至一定程度下,造成化学键断裂致使酚基团数目增多,在福林酚方法下测定总酚含量时便出现含量增高趋势<sup>[33]</sup>。

#### 2.4 微波干燥对不同区域总类黄酮含量的影响

由图5可知,新鲜月柿果片中,总类黄酮含量差异性与总酚相同,A1、A2、B1、B2和C1五个区域总酚含量具有显著性差异,而C2区域总酚含量与C1区域十分接近;其中A2区域类黄酮含量最高,为38.58 mg/g,C1区域总类黄酮含量最低,为28.04 mg/g。与新鲜月柿果片相比,在干燥终点,仅B2区域的总类黄酮含量显著降低,其它五个区域总类黄酮含量具有不同程度增高趋势。此现象可能由于微波使B2区域水分、温度等其它因素变化程度更大,致使其褐变且类黄酮含量较鲜样更低,而其它五个区域可能由于微波使月柿细胞壁结构改变,导致其软化,类黄酮物质析出,且未达到类黄酮降解的温度,因此检测到的类黄酮含量较高<sup>[34]</sup>。B2区域在基于微波干燥功率变化的干燥终点(DS7),总类黄酮含量最低,仅保留有11.72 mg/g,与鲜样差值最大,且干燥过程中下降的更快,这表明相较其它两个干燥因素,微波功率对于B2区域总类黄酮含量影响程度更高。

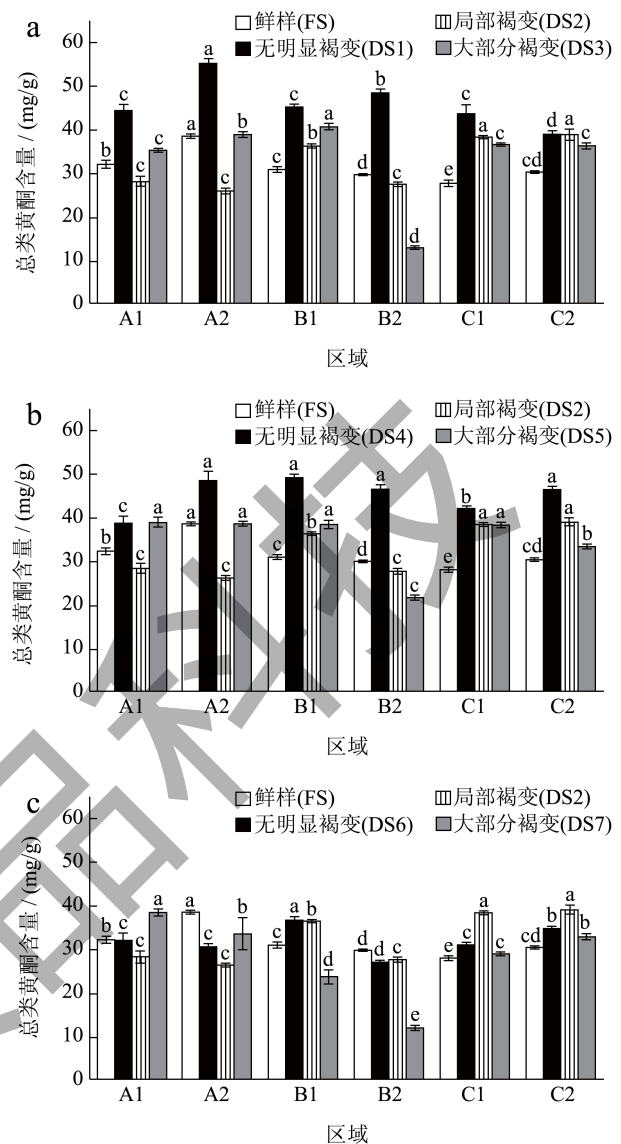


图5 月柿果片微波干燥不同区域总类黄酮含量变化

#### Fig.5 Changes in total flavonoid content in different regions of persimmon slices during microwave drying

注:图a、图b和图c分别表示干燥时间增加、干燥装载量减小和干燥功率增加时的总类黄酮含量变化情况。

#### 2.5 微波干燥对不同区域总黄烷醇含量的影响

由图6可知,新鲜月柿果片不同区域总黄烷醇含量具有显著差异,六个区域中,A2区域黄烷醇含量最高,为12.77 mg/g,C2区域总黄烷醇含量最低,为10.09 mg/g。新鲜月柿果片总酚含量在86.96 mg/g与125.68 mg/g之间,而总黄烷醇含量较低,可见黄烷醇不是新鲜月柿果片主要酚类物质,研究发现葡萄籽中含有较高的黄烷醇类物质,总黄烷醇含量达到172.57 mg/g<sup>[35]</sup>,是新鲜月柿果片的十倍之多。与鲜样相比,微波干燥下不同区域总黄烷醇含量发



生显著性变化。月柿干燥至无明显褐变时 (DS1、DS4、DS6), 总黄酮醇含量显著增高; 而后随着微波时间增加或装载量减小或功率增加, 不同区域总黄酮醇含量呈下降趋势, 仅 A1、A2 区域在装载量减小至 2.15 kg/m<sup>2</sup> (DS5)、功率增加至 555 W (DS7) 时出现增高趋势。微波时间增加或装载量减小或功率增加的干燥终点, B2 区域的总黄酮醇含量都最低, 仅分别保留有 0.77、1.90、2.03 mg/g, 低于总类黄酮和柿单宁的含量, 其下降速度也最快, 与鲜样差值最大, 三种微波条件下分别为 9.42、8.30、8.17 mg/g。三种微波条件的改变对六个区域的总黄酮醇含量影响程度都无明显差异。

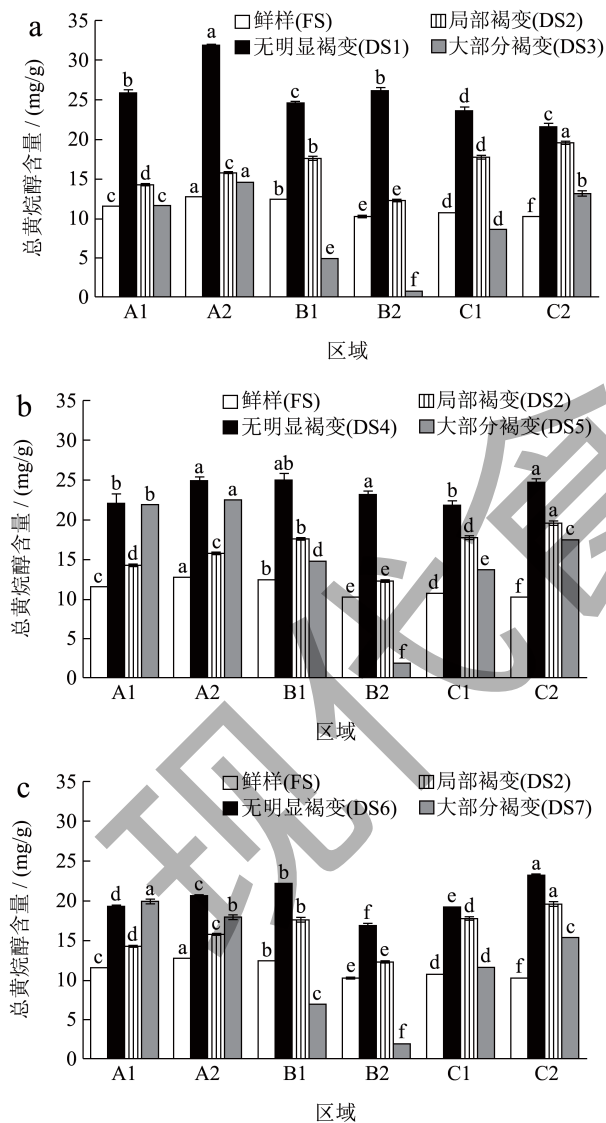


图 6 月柿果片微波干燥不同区域总黄酮醇含量变化

Fig.6 Changes in total flavanol content in different regions of persimmon slices during microwave drying

注: 图 a、图 b 和图 c 分别表示干燥时间增加、干燥装载量减小和干燥功率增加时的总黄酮醇含量变化情况。

## 2.6 微波干燥对不同区域柿单宁含量的影响

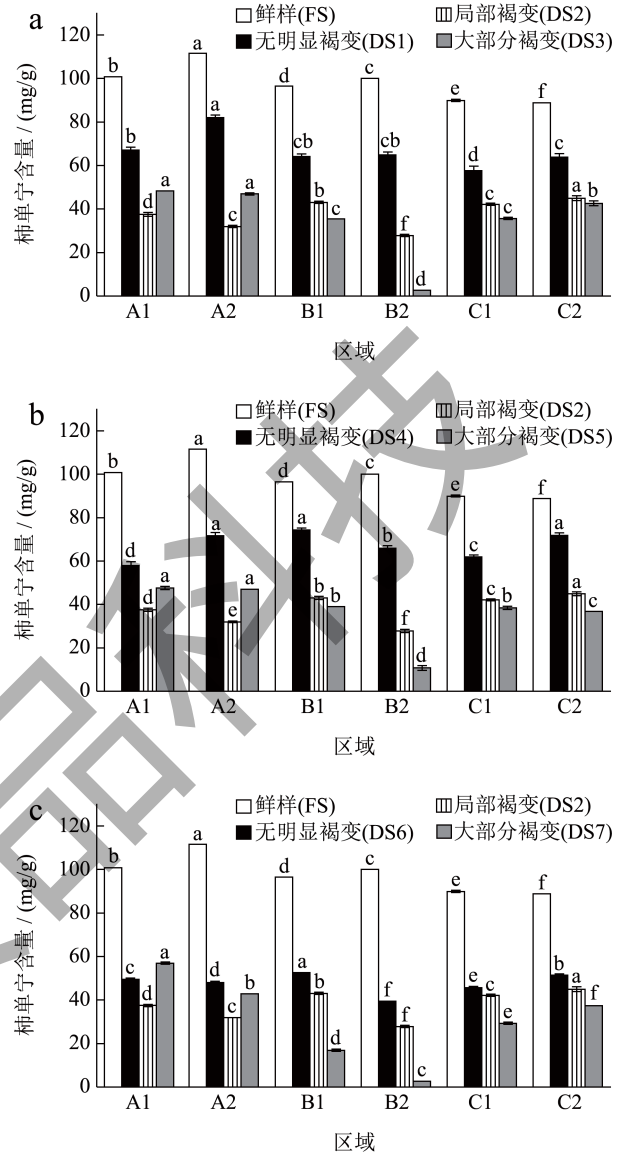


图 7 月柿果片微波干燥不同区域柿单宁含量变化

Fig.7 Changes in persimmon tannin content in different regions of persimmon slices during microwave drying

注: 图 a、图 b 和图 c 分别表示干燥时间增加、干燥装载量减小和干燥功率增加时的柿单宁含量变化情况。

由图 7 可知, 新鲜月柿果片单宁含量十分丰富, 其不同区域单宁含量具有显著差异, A2 区域单宁含量最高, 为 111.29 mg/g, 约占 A2 区域总酚的 88.6%; C2 区域单宁含量最低, 为 89.05 mg/g, 微波干燥下的月柿果片六个区域单宁含量比鲜样低。在干燥过程中, A1、A2 区域单宁含量先降低, 而后又具有升高趋势, 其它四个区域随着微波时间增加或装载量减小或功率增加都呈递减趋势。可能由于 A 区域水分含量更高, 水分子在微波作用下高频



振动,产生热量累积,破坏了单宁与细胞内糖和蛋白质的结合,溶解度更大,出现含量升高现象<sup>[36]</sup>,而其它四个区域单宁则不断在微波作用下氧化消耗,含量不断减少。三种不同微波条件对柿单宁含量影响程度大小与对总酚含量影响相同,都是微波功率相较其它两种条件的影响程度更大。六个区域相比,B2区域柿单宁含量下降最快,在干燥终点与鲜样差值最大。

酚类物质含量变化的原因有两种,一是在酶的作用下发生酶促氧化反应,二是在氧气的作用下发生自氧化反应,而在微波干燥过程中,酶类会因钝化失去催化作用,酚类物质会依然保持较高的化学反应活性<sup>[37]</sup>。因此微波干燥月柿果片过程中酚类含量变化是由于酚发生了自氧化反应。

### 2.7 微波干燥下不同酚类含量与色泽的相关性分析

分别对微波干燥下六个区域色泽参数( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值、 $\Delta E$ )与总酚、总类黄酮、总黄烷醇、柿单宁含量进行相关性分析,结果见表4。

对于总酚含量,A1、B1、B2、C1和C2五个区域与 $L^*$ 值呈极显著正相关,与总色差呈极显著负相关;A2区域与 $L^*$ 值呈显著正相关,与总色差呈显著负相关;仅B2区域与 $b^*$ 值具有极显著相关性;由于月柿果片色泽不具有向绿色转变趋势,任一区域与 $a^*$ 值都不具有显著相关性。这表明微波干燥月柿果片不同区域总酚含量与其 $L^*$ 值和 $\Delta E$ 值密切相关,由此可以推测,微波干燥月柿果片不同区域的总酚含量影响其色泽变化,含量低是造成其色泽劣变的原因之一。B2区的总酚含量最低,干燥轻度褐变时 $L^*$ 值最低, $\Delta E$ 值最大(见表2的DS2);干燥重度褐变时其同样 $L^*$ 值最低, $\Delta E$ 值最大(见表2的DS3、DS5、DS7)。

对于总类黄酮和总黄烷醇含量,都是仅B2区域与 $L^*$ 与 $b^*$ 值呈显著正相关,与总色差呈显著负相关。这表明,仅最先褐变且褐变程度最严重的B2区域的色泽变化与总类黄酮和总黄烷醇含量有关,类黄酮类与黄烷醇类化合物不是造成月柿果片微波干燥色泽变化的主要酚类成分。

表4 不同区域色泽参数与酚类含量的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of color parameters and phenolic content in different regions

不同酚类	不同参数	月柿果片不同区域色泽参数与酚类含量相关系数					
		A1	A2	B1	B2	C1	C2
总酚	$L^*$	0.893**	0.704*	0.863**	0.962**	0.965**	0.836**
	$a^*$	0.082	-0.294	-0.541	0.034	-0.459	-0.220
	$b^*$	0.412	0.478	0.786*	0.969**	0.815*	0.824*
	$\Delta E$	-0.878**	-0.678*	-0.843**	-0.969**	-0.874**	-0.829**
总类黄酮	$L^*$	-0.239	0.514	0.546	0.764*	0.384	0.216
	$a^*$	-0.084	-0.250	-0.455	0.050	0.072	-0.409
	$b^*$	0.157	0.321	0.513	0.812*	0.498	0.151
	$\Delta E$	-0.035	-0.510	-0.532	-0.781*	0.487	-0.220
总黄烷醇	$L^*$	-0.263	0.430	0.393	0.775*	-0.263	0.314
	$a^*$	-0.164	-0.172	-0.244	-0.042	0.481	-0.459
	$b^*$	0.231	0.223	0.302	0.806*	-0.175	0.204
	$\Delta E$	0.073	-0.425	-0.365	-0.786*	0.237	-0.280
柿单宁	$L^*$	0.873**	0.725*	0.903**	0.954**	0.976**	0.920**
	$a^*$	0.080	-0.451	-0.656	-0.052	-0.592	-0.475
	$b^*$	0.454	0.504	0.853**	0.947**	0.844**	0.852
	$\Delta E$	-0.930**	-0.703*	-0.892**	-0.958**	-0.887**	-0.853**

注: \*\*在 $P < 0.01$ 呈极显著相关; \*在 $P < 0.05$ 呈显著相关。

柿单宁含量与总酚含量基本相同,都是A1、B1、B2、C1和C2五个区域与 $L^*$ 值呈极显著正相关,与总色差呈极显著负相关;A2区域与 $L^*$ 值呈显著正相关,与总色差呈显著负相关;表明柿单宁含量越高, $L^*$ 值越大、 $\Delta E$ 值越小,即色泽越明亮与新鲜样品色差越小。六个区域单宁含量与色泽参数 $a^*$ 值无显著相关性;仅B1、B2、C1三个区域单宁含量与色泽参数 $b^*$ 值呈极显著正相关,表明这三个区域黄度值变化明显,单宁含量越高, $b^*$ 值越大,即色泽越黄,而其它三个区域单宁含量与 $b^*$ 值无显著相关性。总体表明月柿果片微波干燥不同区域单宁含量与其 $L^*$ 值、 $\Delta E$ 值密切相关,由此可以推测,微波干燥月柿果片不同区域的单宁含量影响其色泽变化,单宁是造成其色泽变化的主要酚类成分。B2区的单宁含量最低,干燥轻度褐变时 $L^*$ 值最低, $\Delta E$ 值最大(见表2的DS2);干燥重度褐变时其同样 $L^*$ 值最低, $\Delta E$ 值最大(见表2的DS3、DS5、DS7)。

综上,柿单宁是造成其色泽变化的主要酚类成分,类黄酮类和黄烷醇类化合物不是造成月柿色泽劣变的主要原因。韩希凤<sup>[38]</sup>在探究大枣浓缩汁非酶褐变机制时,也同样得出类黄酮和类黄烷醇物质因为其环状结构不易发生氧化,而含有邻苯二酚、邻苯三酚等结构的多酚更容易发生氧化反应的结论。

### 3 结论

研究表明,微波干燥对月柿果片不同区域的不同酚类及水分含量影响具有显著差异。(1)对比新鲜与干燥下的月柿果片,干燥使月柿果片不同区域水分含量均降低,造成月柿果片色泽劣变,由黄色变为棕黑色,不再具备新鲜月柿色泽;且不同酚类含量在微波干燥过程中呈现显著变化,不同酚类含量具有不同的变化趋势。(2)对比新鲜的月柿果片不同区域,水分含量A2(81.92%)>A1(80.09%)>B2(79.87%)>B1(79.02%)>C1(77.61%)>C2(77.38%)、总酚含量A2(125.68 mg/g)>B1(104.21 mg/g)>C2(101.40 mg/g)>C1(99.67 mg/g)>A1(93.14 mg/g)>B2(86.96 mg/g)、总类黄酮含量A2(38.58 mg/g)>A1(32.25 mg/g)>B1(31.11 mg/g)>C2(30.42 mg/g)>B2(29.84 mg/g)>C1(28.04 mg/g)、总黄烷醇含量A2(12.77 mg/g)>B1(12.47 mg/g)>A1(11.34 mg/g)>C1(10.56 mg/g)>B2(10.20 mg/g)>C2(10.09 mg/g)、柿单宁含量A2(111.29 mg/g)>A1(100.81 mg/g)>B2(99.42 mg/g)>B1(96.50 mg/g)>C1(90.11 mg/g)>C2

(89.05 mg/g)。(3)对比微波干燥下的月柿果片不同区域,B2区域水分含量最低,微波时间增加至15 min(DS3)、功率减小至2.15 kg/m<sup>2</sup>(DS5)、功率增加至555 W(DS7)时,B2区域水分含量分别降至7.16%、7.4%、7.55%,且其最先出现褐变,随后蔓延至其它区域,变化特征最明显,随着微波时间增加或装载量减小或功率增加,其总酚含量呈显著下降趋势,总类黄酮、总黄烷醇、柿单宁含量呈现先增加后减少的变化趋势,且B2区域不同酚类含量在干燥终点与鲜样差值最大。(4)对比微波时间、装载量、功率三种微波条件,微波功率的变化对月柿果片的影响程度更大,致使月柿果片不同区域在干燥终点酚类含量更低,发生褐变程度也更深。(5)相关性分析结果表明,月柿果片微波干燥不同区域总酚和柿单宁含量与亮度值( $L^*$ )呈显著正相关( $P<0.05$ ),和总色差( $\Delta E$ )呈显著负相关( $P<0.05$ );仅B2区域的总类黄酮和总黄烷醇含量与亮度值( $L^*$ )和总色差( $\Delta E$ )呈显著相关性。月柿果片B2区域具有独特性,处于整个月柿内芯部位,总酚含量最低;因包裹种子,果瓢质地更薄;在微波干燥时,单位组织吸收微波能量更高,酚类变化趋势更快,产生褐变现象更快,在干燥终点与鲜样差值最大。

月柿果片中的酚类物质变化是由于在微波干燥中酚发生了自氧化反应,并产生了黑色物质,造成了月柿果片不同区域色泽劣变。结果表明,酚自氧化反应会受到微波时间、功率及装载量的影响。柿单宁是造成其色泽变化的主要酚类成分,类黄酮类和黄烷醇类化合物不是造成月柿色泽劣变的主要原因。同时,月柿果片酚类物质在微波干燥中变化也具有升高趋势,表明酚的自氧化反应过程极其复杂,且受多种条件影响,需要进一步细化酚类化合物,探究月柿果片微波干燥过程中酚类自氧化反应进程和影响因素,提高微波干制月柿的品质。

### 参考文献

- [1] MENDEZ D A, FABRA M J, ODRIOZOLA S I, et al. Influence of the extraction conditions on the carbohydrate and phenolic composition of functional pectin from persimmon waste streams [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 123: 107066.
- [2] 李江阔,邓丙乾,张鹏,等.1-MCP结合MAP处理对不同冷藏期恭城月柿货架品质的影响[J].包装工程,2019,40(19):1-8.
- [3] 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.

- [4] 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.
- [5] 夏光辉,王晓雅,李冰.微波技术在果蔬加工中的应用研究进展[J].中国果菜,2016,36(7):4-8.
- [6] RADOIU M. Microwave drying process Scale-up [J]. Chemical Engineering and Processing-process Intensification, 2020, 155: 108088.
- [7] 冉思婷,梁晓锋,王杰.不同方式干燥的火龙果果皮粉加工与贮藏品质的比较[J].现代食品科技,2023,39(10):185-193.
- [8] 王晓艳,韩延超,吴伟杰等.不同干燥方式对菠萝品质和挥发性风味的影响[J].浙江农业学报,2023,35(5):1168-1177.
- [9] 赵红霞,王应强,马玉荷,等.微波干燥条件对杏脯干燥特性与品质的影响[J].食品与机械,2023,39(4):123-129.
- [10] DAI J, XIAO H, ZHANG L, et al. Drying characteristics and modeling of apple slices during microwave intermittent drying [J]. Journal of Food Process Engineering, 2019, 42(6): e13212.
- [11] LEI Y D, CHEN J L, ZHANG Z H, et al. Influence of microwave vacuum drying on the effective moisture diffusivity of seedless white grapes [J]. Food Science and Technology, 2022, 42: e37020.
- [12] GULCIN Y, GOKCEN I. Influence of microwave and microwave - convective drying on the drying kinetics and quality characteristics of pomelo [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(6): 13812.
- [13] CHAYJAN A, KAVEH K. Modeling drying characteristics of hawthorn fruit under microwave-convective conditions [J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2015, 39(3): 239-253.
- [14] CHEN Y, ZHANG X C, LUO Z S, et al. Effects of inside-out heat-shock via microwave on the fruit softening and quality of persimmon during postharvest storage [J]. Food Chemistry, 2021, 349: 129161.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] QIN Y T, DUAN Z H, ZHOU S Y, Effect of intermittent microwave drying on nutritional quality and drying characteristics of persimmon slices [J]. Food Science and Technology, 2022, 42: e37422.
- [18] VIVEK K, SUBBARAO K V, SRIVASTAVA B. Effect of thin-layer drying on the quality parameters of persimmon slices [J]. International Journal of Fruit Science, 2021, 21(1): 587-598.
- [19] 周舟,钟晓红,曾建国等.柿果实多酚含量变化规律研究[J].湖南农业科学,2011,3:137-140.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 马妮,刘慧燕,方海田等.红枣多酚提取工艺优化、成分及抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2022,43(16):246-254.
- [23] JANA O, TUNDE J, BEDNARIKOVA R, et al. Total phenolic and total flavonoid content, individual phenolic compounds and antioxidant activity in sweet rowanberry cultivars [J]. Antioxidants (Basel, Switzerland), 2023, 12(4): 913.
- [24] 杨灵光,刘欣欣,邓闯等.不同热处理方法对元宝枫叶与花中酚类成分及抗氧化活性的影响[J].食品工业科技,2023,8(8):1-19.
- [25] 段荣.柿类黄酮的提取及其主要成分研究[D].保定:河北农业大学,2013.
- [26] 陈洪强,夏惠,王进,等.葡萄果皮类黄酮含量的变化及其相关基因表达[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2020,46(2):165-170.
- [27] 樊凡.柿单宁的提取工艺和抗氧化性研究及在超级电容器中的应用[D].桂林:桂林电子科技大学,2022.
- [28] 郑秀艳,陈曦,何扬波等.干燥方式对红托竹荪品质特性和微观结构的影响[J].现代食品科技,2023,9(21):1-9.
- [29] 盛金凤,零东宁,王雪峰等.成熟度对柿子片干燥特性及品质影响[J].食品工业科技,2021,42(20):69-75.
- [30] ZIA M P, ALIBAS I. Influence of the drying methods on color, vitamin C, anthocyanin, phenolic compounds, antioxidant activity, and *in vitro* bioaccessibility of blueberry fruits [J]. Food Bioscience, 2021, 42: 101179.
- [31] SONERC, KAMIL K. Microwave drying behaviour of apple slices [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 2013, 227(4): 264-272.
- [32] YILDIZ G, IZLI G. Influence of microwave and microwave-convective drying on the drying kinetics and quality characteristics of pomelo [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 43(6): e13812.
- [33] 赖钰婷,原江锋,陈卓瑶,等.微波技术对葡萄酒中酚类和有机酸类的影响[J].河南科技大学学报(自然科学版),2022,43(2):77-83.
- [34] 高炜.干燥方式对柠檬中酚类物质及其品质的影响研究[D].长沙:湖南农业大学,2018.
- [35] 丁燕, HARRISON Roland; 王超萍, 韩晓梅, 吴新颖. 葡萄果实发育过程中葡萄籽中黄烷-3-醇及其聚合体的变化[J]. 北方园艺, 2020, 20: 16-21.
- [36] CRISTINA M, GONZALEZ, EMPAR L, et al. An *in vitro* digestion study of tannins and antioxidant activity affected by drying "Rojo Brillante" persimmon [J]. LWT, 2022, 155: 112961.
- [37] 杨子涵,陈丹丹,季俊夫,等.果蔬汁中多酚介导的非酶褐变研究进展[J].食品工业科技,2021,42(24):367-375.
- [38] 韩希凤,李书启.利用模拟体系研究大枣浓缩汁的非酶褐变机制[J].食品工业科技,2015,36(7):105-108.