

# 超声和渗透预处理对干燥草莓片品质及抗氧化活性影响

张莉会<sup>1,2</sup>, 廖李<sup>2</sup>, 汪超<sup>1</sup>, 安可婧<sup>3</sup>, 乔宇<sup>2</sup>

(1. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北武汉 430064) (2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064) (3. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东广州 510642)

**摘要:** 研究蔗糖、果糖、葡萄糖以及蔗糖结合超声渗透预处理对真空冷冻联合热风干燥草莓片品质及其抗氧化活性影响。结果表明: 经预处理后干燥草莓片的品质、花色苷、总酚、黄酮、Vc 含量和抗氧化能力均有显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 其中蔗糖结合超声前处理水分含量最低, 硬度最高, 而经蔗糖渗透处理的草莓片干燥后色泽与新鲜草莓最接近,  $a^*$  最高; 干燥后草莓片的花色苷、总酚和黄酮含量均高于鲜样, 但 Vc 含量大大降低, 其中经蔗糖结合超声预处理后的草莓片花色苷、总酚和黄酮含量最高, 分别为 22.68 g/L、7.52 mg/g、10.38 mg/g, 其对 -OH 和 DPPH 清除率也高于其他组, 但渗透和超声处理并不能提高草莓片 Vc 含量和铁离子还原能力; 三种糖渍处理均能提高干燥草莓片品质, 且蔗糖效果最佳。综上, 渗透以及蔗糖结合超声预处理后草莓片品质以及抗氧化活性成分含量较高、抗氧化活性较强, 适宜于草莓片的干燥。

**关键词:** 草莓片; 渗透; 超声; 品质; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2018)12-196-203

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.12.029

## Effects of Ultrasonic and Osmotic Pretreatment on Quality and Antioxidant Activity of Dried Strawberry Slices

ZHANG Li-hui<sup>1,2</sup>, LIAO Li<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, AN Ke-jing<sup>3</sup>, QIAO Yu<sup>2</sup>

(1. Hubei University of Technology, Bioengineering and Food Institute, Wuhan 430064, China)

(2. Institute for Farm Products Processing and Nuclear-agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China) (3. The Sericulture & Farm Produce Processing Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** The effects of sucrose, fructose, glucose and sucrose combined with ultrasonic osmotic pretreatment on the quality and antioxidant activity of vacuum freezing combined with hot air drying strawberry slices were studied. The results showed that the quality, anthocyanin, total phenol, flavonoids, VC content and antioxidant capacity of dried strawberry slices were significantly different after pretreatment ( $p < 0.05$ ). The water content of sucrose-ultrasonic pretreatment was the lowest, and the hardness was the highest. The color of dried strawberry slices with the highest  $a^*$  was the closest to that of fresh strawberry. The contents of anthocyanins, total phenols and flavonoids in dried strawberry slices were higher than that in fresh samples, but the content of Vc was greatly reduced. The contents of anthocyanins, total phenols and flavonoids in dried strawberry slices pretreated by sucrose combined with ultrasound were 22.68 g/L, 7.52 mg/g and 10.38 mg/g, respectively. The scavenging rate of -OH and DPPH were also higher than that in other groups, but the permeation rate was higher. Ultrasound and Vc content of strawberry slices could not be improved, and the three kinds of sugar treatment could improve the quality of dried strawberry slices, and the sucrose treatment was the best. In conclusion, the quality and antioxidant activity of strawberry slices pretreated by osmosis and sucrose combined with ultrasound were higher, which was suitable for the drying of strawberry slices.

**Key words:** strawberry slices; infiltration; ultrasonic; quality; antioxidant activity

草莓属蔷薇科, 果实富含 Vc、花色苷、酚类等多

种营养物质, 具有极高的营养价值和不一般的医疗保健功效, 素有“水果皇后”的美称。但草莓水分含量较高, 组织娇嫩, 易损伤、易受微生物侵染而腐烂变质, 不耐贮运<sup>[1]</sup>。因此, 需要对草莓及时进行加工处理, 以便延长货架期, 免受经济损失。

收稿日期: 2018-09-14

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0400900; 2017YFD0400904)

作者简介: 张莉会 (1994-), 女, 硕士研究生, 农产品加工与贮藏

通讯作者: 乔宇 (1981-), 女, 博士, 副研究员, 农产品加工与贮藏

干燥脱水在果蔬加工中是比较常见的一种方式,通过干燥可以将物料中水分含量降低到一定程度,来延长食品的货架期,从而降低贮运成本<sup>[2]</sup>。真空冷冻联合热风干燥技术是根据物料的特性,将真空冷冻干燥和热风干燥两种方式优势互补,分阶段进行的一种复合干燥技术,能达到缩短干燥时间、降低能耗、提高产品品质的目的<sup>[3]</sup>。

果蔬干燥处理前,辅以一定的糖渍工艺,可以用于提高产品的渗透压及贮藏中的稳定性,提高产品的感官品质。渗透干燥已被广泛用于通过浸没在高渗介质中从植物组织中部分去除水分。Mandala 等<sup>[4]</sup>,将苹果浸入高渗透压的糖(葡萄糖、蔗糖)或盐的水性介质中期间,研究了从食物流出到溶液中以及同时将溶质从溶液转移到食品中的情况。浸泡过程,通常包括浸泡时间和温度,可能会影响结构的改变,一般来说,由于浸泡过程较慢,因此需要额外的技术来增加传质而不会对质量产生不利影响<sup>[5]</sup>;低频超声波处理也能够很好地保留多酚类物质,具有较高的总酚含量,因为低频超声波处理会改变草莓内部的组织结构,从而有利于原先束缚的酚类物质释放出来<sup>[6]</sup>。目前,大多数超声辅助已广泛使用,超声波渗透常用于菠萝<sup>[7]</sup>、苹果<sup>[8]</sup>和香蕉<sup>[9]</sup>等产品。

本研究以草莓为原料,采用蔗糖、果糖、葡萄糖以及蔗糖结合超声渗透预处理方式,再进行真空冷冻联合热风干燥处理,通过对草莓的色泽、硬度、水分含量、花色苷、多酚、黄酮、对 DPPH 和-OH 清除率、铁离子还原能力等指标进行测定,寻找出合适的干燥工艺,旨在为该技术在草莓干燥加工上的应用和产业化发展提供支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 原料

草莓:品种为晶玉,购于湖北省武汉市洪山区南湖综合生鲜市场。

#### 1.1.2 仪器与设备

乙醇,国药集团化学试剂有限公司;没食子酸(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;薯蓣皂苷(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;芦丁(生化试剂),上海展元化工有限公司;水杨酸(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;DPPH(分析纯),京东化成工业株式会社。

UV-3802 分光光度计,上海尤尼科仪器有限公司;HE53/Z02 水分测定仪,梅特勒-托利多仪器有限公司;Ta. XT-2i/50 质构仪,英国 Stable Micro System 公司。FD5-2.5 GOLD-SIM, GOLD SIM International Group CO., LTD。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 草莓片制备工艺

草莓→清洗→切片→预处理→-40℃预冻→真空冷冻干燥

#### 1.2.2 样品预处理

##### 1.2.2.1 清洗并切片

将新鲜草莓去蒂,清洗。清除附着在草莓表面的虫、卵以及泥砂等脏物;将草莓切片约 3~5 cm。

##### 1.2.2.2 糖渍

将装好盘的草莓放入冻干仓内进行冻结,温度为-35℃,使草莓的中心温度达到共晶点温度以下,草莓的共晶点温度为-22℃。

##### 1.2.2.4 真空冷冻联合热风干燥

将预处理好的草莓在冷阱温度为-50℃、真空度为 10 Pa 的条件下进行真空冷冻干燥,当水分含量为 35%±5%时取出,转为 60℃热风干燥至最终产品(水分含量约为 2%左右)。样品分组如表 1:

### 1.3 指标测定

#### 1.3.1 色泽的测定

采用 CR-400 型色差仪,测量样品的色度(L\*、

表 1 样品分组情况

Table 1 Grouping of samples

实验组	1	2	3	4	5	6
样品处理	鲜果	对照(直接冻干)	蔗糖渗透	果糖渗透	葡萄糖渗透	蔗糖结合超声渗透

实验组 1: 鲜果;实验组 2: 鲜果切片预冻后,进行真空冷冻干燥;实验组 3: 将切片后的草莓放入质量分数为 10%的蔗糖溶液中渗透 30 min,然后沥干后进行预冻,再真空冷冻干燥;实验组 4: 将切片后的草莓放入质量分数为 10%的果糖溶液中渗透 30 min,然后沥干后进行预冻,再真空冷冻干燥;实验组 5: 将切片后的草莓放入质量分数为 2%的果糖溶液中渗透 30 min,然后沥干后进行预冻,再真空冷冻干燥;实验组 6: 将切片后的草莓放入质量分数为 10%的蔗糖溶液并在功率为 150 W 的超声清洗仪中渗透 30 min,然后沥干后预冻,再真空冷冻干燥;

#### 1.2.2.3 预冻

a\*和b\*) 并和新鲜草莓的色度 ( $L_0$ 、 $a_0$ 、 $b_0$ )，比较，计算色度变化值  $\Delta E$ ， $L$  为明暗值， $a$  为红或绿值， $b$  为黄或蓝值， $\Delta E$  表示色差。式中  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  表示草莓干燥产品的色泽值， $L_0$ 、 $a_0$ 、 $b_0$  为草莓新鲜的色泽值。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (1)$$

式中： $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ ：表示草莓干燥产品的色泽值； $L_0$ 、 $a_0$ 、 $b_0$ ：为草莓新鲜的色泽值； $\Delta E$ ：表示色差。

### 1.3.2 水分含量和质构的测定

水分含量的测定采用水分测定仪进行测定，每个样品测定 3 次。

取大小相近的样品，采用 TA-XT2i 物性测定仪测定。参数设置为：探头型号：剪切探头 P2，测试模式：压缩，目标模式：应变，操作类型：Return to start，触发模式：应力，等待时间：0 s，测试前速度 2 mm/s，测试速度 1.00 mm/s；测试后速度：10.00 mm/s，测试距离：10 mm，触发应力：5 g，取点频率：200 pps。样品的硬度，由计算机直接输出，单位/N。每个样品重复测量 5 次，最后去掉最大值，去掉最小值，其他数据取平均值。

### 1.3.3 花色苷含量的测定

采用陈杭君等<sup>[10]</sup>的方法，略有修改，具体操作如下。取 2 g 样品，加入 5 g 水，加入 20 mL 70% pH 3.0 的酸性乙醇溶液，在 40 °C 下水浴 2 h，提取至提取液无色，过滤后备用。采用 pH 差示法测其花色苷的含量，取 2 mL 提取液于 25 mL 比色管中，用 pH 1.0 缓冲液 (0.2 mol/L KCl-0.2 mol/L HCl) 稀释至 10 mL 刻度线处，另取 2 mL 提取液于 25 mL 比色管中，用 pH 4.5 缓冲液 (1 mol/L NaAc-1 mol/L HCl-H<sub>2</sub>O) 稀释至 10 mL 刻度线处，在 510 nm 处测量吸光度值。根据下式计算总花色苷含量 (g/L)。

$$C = \frac{(A_0 - A_1) \times V \times M \times DF}{(\epsilon \times m)} \quad (2)$$

式中： $A_0$ ：被测样品溶液分别在 pH 1.0 时 510 nm 处的吸光度； $A_1$ ：被测样品溶液分别在 pH 1.0、pH 4.5 时 510 nm 处的吸光度； $V$ ：被测样品提取液总体积，单位/mL； $DF$ ：稀释倍数； $M$ ：484.82 g/mol (矢车菊-3-葡萄糖苷(cy-3-glu)的相对分子质量)； $\epsilon$ ：24825 L/mol·cm (矢车菊-3-葡萄糖苷(cy-3-glu)的在 510 nm 处的摩尔消光系数)； $m$ ：样品质量 (g)。

### 1.3.4 抗氧化活性成分的提取

分别称取 5.00 g 样品于烧杯中，加入 70% 乙醇溶液 25 mL，摇匀，超声波水浴浸提 30 min，6000 r/min 离心 15 min，取上清液，滤渣再加 70% 乙醇溶液同样条件水浴、离心。合并两次上清液，用 70% 乙醇定容

至 50 mL。

#### 1.3.4.1 总酚含量的测定

使用福林酚法绘制没食子酸标准曲线。取 0.1 mL 样液于 10 mL 具塞比色管中，分别加入 1 mL Folin-ciocalfen 于比色管中，充分震荡 3~4 min，再分别加入 1 mL 10% 的 NaCO<sub>3</sub> 溶液，充分摇匀，用蒸馏水定容至 5 mL，25 °C 恒温 1 h，在 765 nm 波长下测吸光度。在相同条件下测定不同质量浓度的没食子酸吸光度，绘制标准曲线，得到回归方程为： $y = 184.28x + 0.0277$ ， $R^2 = 0.999$ 。结果以没食子酸当量表示 (mg 没食子酸/g 干重)<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.4.2 黄酮含量的测定

标准曲线的制作：取芦丁标准液 (0.1 mg/mL) 0.0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 mL 于 6 只 25 mL 比色管中，用 70% 乙醇补充至 12.5 mL，加入 1.0 mL 5% 亚硝酸钠溶液，静置 5 min 后加入 1.0 mL 10% 硝酸铝，6 min 后加入 5 mL 1 mol/L 氢氧化钠溶液，摇匀，用 70% 乙醇稀释至刻度，静置 10 min，在 510 nm 波长下测吸光度，以芦丁浓度为横坐标吸光度为纵坐标绘制标准曲线，得到回归方程为： $y = 10.775x - 0.0026$ ， $R^2 = 0.997$ 。

黄酮含量测定：取 1 mL 样液于 25 mL 比色管中，用 70% 乙醇补充至 12.5 mL，加入 1.0 mL 5% 亚硝酸钠溶液，静置 5 min 后加入 1.0 mL 10% 硝酸铝，6 min 后加入 5 mL 1 mol/L 氢氧化钠溶液，摇匀，用 70% 乙醇稀释至刻度，静置 10 min，在 510 nm 波长下测吸光度<sup>[12]</sup>。

#### 1.3.4.3 草莓片中抗坏血酸 (Vc) 含量的测定

标准曲线的制作：取 6 支具塞比色管，取抗坏血酸标准溶液 (100 μg/mL) 0.0、0.2、0.3、0.4、0.6、0.8、1.0 mL，用蒸馏水补充至 10 mL，以蒸馏水为空白，在 243 nm 处测定各管吸光度，以抗坏血酸含量为横坐标，吸光度为纵坐标绘制标准曲线。

Vc 含量测定：取 0.2 mL 样品提取液，放入盛有 0.4 mL 10% HCl 的 25 mL 比色管中，用蒸馏水稀释至 10 mL 刻度后摇匀，以蒸馏水为空白，在 243 nm 处测定吸光度。分别吸取 0.2 mL 样品提取液、2 mL 蒸馏水和 0.8 mL 1 mol/L NaOH 溶液依次放入 25 mL 比色管中，混匀，15 min 后加入 0.8 mL 10% HCl，混匀，加蒸馏水定容至 10 mL 刻度线，以蒸馏水为空白，在 243 nm 处测定吸光度。

### 1.3.5 草莓片抗氧化能力的测定

#### 1.3.5.1 铁离子还原能力的测定 (FRAP 法)

标准曲线的制作：分别取浓度为 0.04、0.08、0.12、0.16、0.20 mmol/L FeSO<sub>4</sub> 溶液 0.2 mL 于比色管中，加入 6 mL FRAP 工作液 (0.3 mol/L 醋酸盐缓冲液：10

mmol/L TPTZ 溶液: 20 mmol/L  $\text{FeCl}_3$ (=10:1:1), 0.6 mL 蒸馏水混匀于 37 °C 水浴 10 min, 于 593 nm 波长下比色读数, 用蒸馏水代替  $\text{FeSO}_4$  溶液做空白, 制作标准曲线, 得到回归方程为:  $y=0.555x+0.0652$ ,  $R^2=0.995$ 。

取 0.2 mL 样液于比色管中, 加入 6 mL FRAP 工作液, 0.6 mL 蒸馏水混匀于 37 °C 水浴 10 min, 于 593 nm 波长下比色读数, 用蒸馏水溶液做空白<sup>[13]</sup>。

### 1.3.5.2 羟基自由基清除能力

利用 Fenton 反应检测产生的羟基自由基。在比色管中依次加入 9 mmol/L  $\text{FeSO}_4$  1 mL、9 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液 1 mL、样液 1 mL、8.8 mmol/L  $\text{H}_2\text{O}_2$  1 mL。其中  $\text{H}_2\text{O}_2$  的作用是启动整个反应。37 °C 反应 0.5 h 后, 以蒸馏水为参比, 在 510 nm 下测定吸光度。以 9 mmol/L  $\text{FeSO}_4$  1 mL、9 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液 1 mL、样液 1 mL 和蒸馏水 1 mL 作为待测溶液的本底吸收值。以上各管均做三组平行, 按公式 (3) 计算对羟基自由基的清除率  $K$ <sup>[14]</sup>。

$$K(\%)=[A_0-(A_x-A_{x_0})]\times 100\%/A_0 \quad (3)$$

式中:  $A_0$  为不加山药皮醇提物的空白对照液的吸光度;  $A_x$  为加入待测溶液后的吸光度;  $A_{x_0}$  为无显色剂时提取剂的本底吸光度。

### 1.3.5.3 DPPH 自由基清除能力

在管中依次加入 3.5 mL  $6.5\times 10^{-5}$  mol/L DPPH 溶液和 0.5 mL 60% 的乙醇, 总体积为 4 mL, 混匀 20 min 后, 于比色皿中在 517 nm 处测定吸光值, 记为  $A_0$ ; 加入 3.5 mL  $6.5\times 10^{-5}$  mol/L DPPH 溶液和 0.5 mL 待测试样溶液, 测定值记为  $A_s$ ; 加入 3.5 mL 体积分数为 60% 的乙醇和 0.5 mL 待测试样溶液, 测定值为  $A_r$ , 用 3.5 mL 无水乙醇和 0.5 mL 60% 乙醇作为参照, 以上各管均做三组平行。按公式 (4) 计算对 DPPH 自由基清除率  $R$ <sup>[15]</sup>。

$$R(\%)=[1-(A_s-A_r)/A_0]\times 100\% \quad (4)$$

式中:  $A_s$  为加入醇提物的吸光度;  $A_r$  为本底吸收的吸光度;  $A_0$  为空白溶液的吸光度。

## 1.4 数据处理及统计分析

试验数据为 3 次重复试验的平均值, 用 SPSS.19 软件进行“one-way ANOVA”差异显著性分析。  $p<0.05$  表示差异显著,  $p>0.05$  表示无显著差异, a、b、c、d、e、f 不同字母代表差异显著; 用 Origin 8.5 软件作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 超声和渗透预处理对草莓片水分含量和

### 硬度的影响

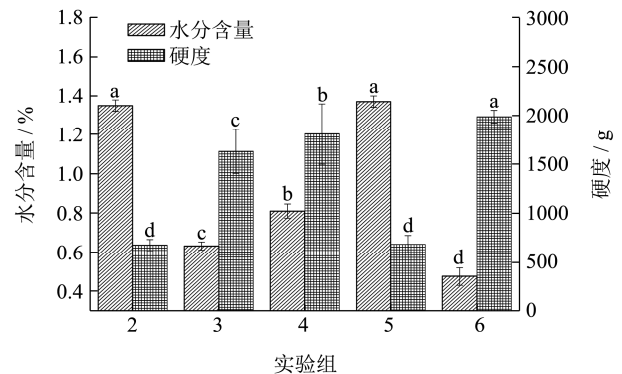


图1 超声和渗透预处理对草莓片水分含量和硬度的影响

Fig.1 Effect of ultrasonic and osmotic pretreatment on moisture content and hardness of strawberry slices

注: a-d 不同字母代表差异性显著 ( $p<0.05$ )。下同。

硬度是一定变形率下样品对于压缩的抵抗力, 与果蔬组织结构直接相关, 是评价果蔬质地品质的重要的指标之一<sup>[16]</sup>。由图 1 可知, 经前处理后干燥的草莓片水分含量及硬度均呈显著性差异 ( $p<0.05$ ), 且除葡萄糖组 (实验组 5) 外, 其他组水分含量均显著低于对照组 (1.35%) ( $p<0.05$ ), 其中经蔗糖超声渗透前处理的草莓片干燥后, 水分含量最低 (0.48%), 硬度最高 (1985.16 g)。经三种糖渗透前处理的草莓片中, 蔗糖效果最佳, 其次是果糖, 葡萄糖效果不显著 ( $p>0.05$ ), 蔗糖结合超声处理后, 效果明显提高, 这与 Sueli 等对柠檬的研究结果一致<sup>[17]</sup>; 这些结果归因于糖渗透能提高草莓片的渗透压, 从而加速水分的流失, 超声预处理影响果实组织, 使得水在空气干燥过程中更容易扩散, 这很可能是由于在果实中形成微观通道, 从而促进去除水分, 当与糖渍结合时, 通过加速水分转移, 提高干燥速率<sup>[18]</sup>。Fernandes 等<sup>[19]</sup>研究了超声波预处理和超声波辅助渗透脱水对菠萝脱水的影响, 结果表明, 超声波处理后水分扩散率增加, 总干燥时间缩短 8%。Rodríguez 等<sup>[20]</sup>以苹果为原料, 采用柠檬酸溶液、苹果汁为介质进行超声辅助处理, 结果表明, 超声波辅助处理使处理苹果的水分有效扩散系数增加, 与两种介质配合使用时, 效果更为明显。由此可见, 蔗糖结合超声渗透能加快草莓片水分散失, 提高硬度, 从而提高干燥效率。

### 2.2 超声和渗透预处理对草莓片花色苷和色

### 泽的影响

干燥产品的色泽是衡量干燥产品品质的最直观判

断标准,它能够直接影响产品被消费者接受的程度<sup>[21]</sup>。由表2可知,草莓片经干燥后L\*值显著降低,这与Kaur M<sup>[22]</sup>报道类似,红色(a\*)和黄色(b\*)的增加,导致已经干燥的样品变暗,从而使L\*的值降低。还有研究表明,干燥过程中的收缩和结构变形可能转移了光子或吸收了更多的亮度,从而降低了L\*值<sup>[23]</sup>。对照组草莓片L\*值为41.86,而经蔗糖(处理组3)和葡萄糖(处理组5)渗透处理的草莓片L\*分别为53.09和48.96,果糖与蔗糖超声渗透前处理的草莓片L\*值分别为39.48、33.95;经蔗糖和葡萄糖处理的草莓片ΔE低于对照组,这表示这两种处理较对照组而言,

颜色更佳接近鲜样。a\*值是草莓片最主要的颜色,而草莓中红色素主要来源于花色苷,蔗糖和葡萄糖渗透处理的草莓片a\*高于鲜样及对照组,且各处理组花色苷含量有所提高,其中果糖组、蔗糖结合超声渗透的草莓片花色苷含量最高,分别为22.91 g/L、22.67 g/L,蔗糖组a\*最高为29.68。有研究表明,糖是花色苷合成的原料之一,但糖对花色苷合成的作用,更多的是通过信号机制促进花色苷合成,并且不同种类糖对花色苷合成的影响不同<sup>[24]</sup>。由此可见,采用糖渗透处理可以改善草莓片色泽,还能提高花色苷含量,其中以蔗糖渗透效果最佳。

表2 超声和渗透预处理对草莓片花色苷和色泽的影响

**Table 2 Effects of ultrasound and osmotic pretreatment on anthocyanins and color of strawberry slices**

实验组	1	2	3	4	5	6
L*	77.53±1.41 <sup>a</sup>	41.86±1.52 <sup>d</sup>	53.09±1.24 <sup>b</sup>	39.48±0.39 <sup>c</sup>	48.96±0.75 <sup>e</sup>	33.95±0.64 <sup>f</sup>
ΔE	0 <sup>f</sup>	35.80±1.38 <sup>c</sup>	25.43±1.09 <sup>e</sup>	38.29±0.36 <sup>d</sup>	28.77±0.66 <sup>b</sup>	44.06±0.78 <sup>a</sup>
a*	22.79±1.19 <sup>bc</sup>	21.12±0.87 <sup>c</sup>	29.68±1.04 <sup>a</sup>	20.91±1.58 <sup>c</sup>	24.14±1.79 <sup>b</sup>	23.59±2.04 <sup>bc</sup>
花色苷含量/(g/L)	5.19±0.23 <sup>d</sup>	17.09±0.45 <sup>c</sup>	20.30±0.26 <sup>b</sup>	22.91±0.04 <sup>a</sup>	20.60±0.17 <sup>b</sup>	22.67±0.30 <sup>a</sup>

注: a~f 不同字母代表差异性显著 ( $p < 0.05$ )。

### 2.3 超声和渗透预处理对草莓片总酚和黄酮的影响

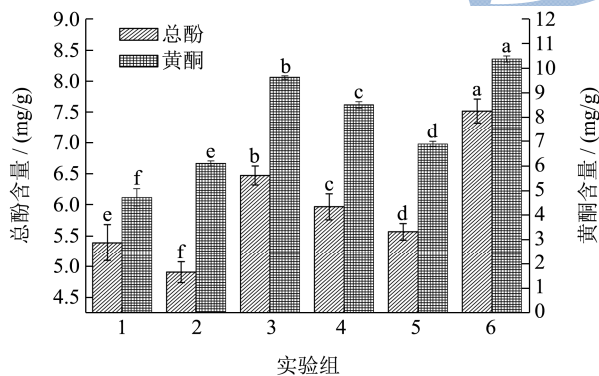


图2 超声和渗透预处理对草莓片总酚和黄酮的影响

Fig. 2 Effects of ultrasound and osmotic pretreatment on total phenols and flavonoids in strawberry slices

酚类物质和黄酮类物质是果蔬中重要的次生代谢产物,能够有效地清除活性氧自由基和抑制膜脂过氧化反应,是果蔬中重要的抗氧化活性成分,在植物抗氧化过程起着重要作用<sup>[25]</sup>。由图2可知,经不同预处理后,草莓片总酚和黄酮含量具有显著性差异 ( $p < 0.05$ ),干燥后草莓片其含量有所升高,Que Fei等认为在干燥过程中,酚类物质发生热分解、氧化,以及在酶的作用下转化为其他物质或由其他物质转化为酚类物质,导致其含量的升高<sup>[26]</sup>。经糖渗透处理后,总酚和黄酮含量均显著高于对照组 ( $p < 0.05$ ),其中经

蔗糖结合超声渗透处理的草莓片总酚和黄酮含量最高,分别为7.51 mg/g、10.38 mg/g,而对照组总酚和黄酮含量分别为4.91 mg/g、6.09 mg/g,这是因为超声波处理降低了草莓浆中溶解氧含量,减少酚类物质氧化分解的可能性<sup>[27]</sup>。三种糖渗透处理中,蔗糖效果最为显著,果糖其次,葡萄糖效果较差,这是由于糖本身就具有一定的抗氧化功能。由此可见,糖渍和超声处理能显著提高草莓片的活性成分,且蔗糖结合超声效果最好。

### 2.4 超声和渗透预处理对草莓片Vc和铁离子还原能力的影响

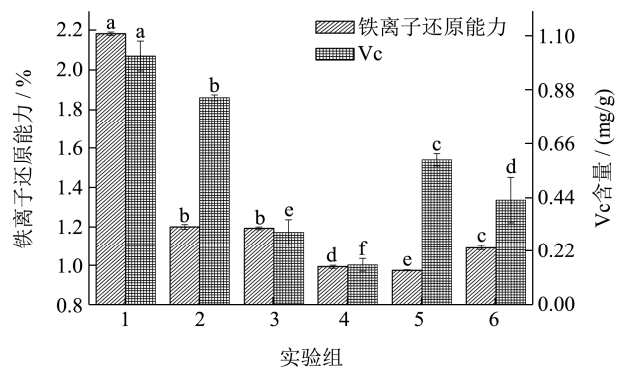


图3 超声和渗透预处理对草莓片Vc和铁离子还原能力的影响

Fig.3 Effect of ultrasound and osmotic pretreatment on Vc and Fe<sup>2+</sup> reduction ability of strawberry slices

Vc具有较强的抗氧活性,但在加工贮藏过程中不

稳定, 易受空气、光、热、酶等的影响<sup>[28]</sup>。由图 3 可知, 新鲜草莓铁离子还原能力和 Vc 含量最高, 而经干燥处理后, 草莓片铁离子还原能力和 Vc 含量均显著下降 ( $p < 0.05$ ), 其中对照组 (实验组 2) 和蔗糖渗透 (实验组 3) 前处理草莓片的铁离子还原能力无显著差异 ( $p > 0.05$ ), 其值分别为 1.20% 和 1.19%, 高于其他干燥处理组, 对照组 Vc 含量为 0.85 mg/g, 但经糖渍处理后草莓 Vc 含量降低; 四种渗透处理中葡萄糖渗透处理的草莓片 Vc 含量最高, 为 0.59 mg/g。由此可见, 糖渍处理以及超声处理对草莓片铁离子还原能力和 Vc 含量并没有积极作用, 反而还降低了其含量。

## 2.5 超声和渗透预处理对草莓片 DPPH 和 -OH

清除率的影响

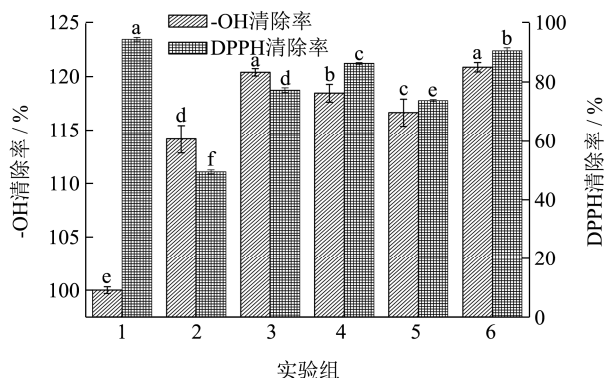


图 4 超声和渗透预处理对草莓片 DPPH 和 -OH 清除率的影响

Fig.4 Effect of ultrasound and osmotic pretreatment on DPPH and -OH clearance rate of strawberry slices

抗氧化活性与还原性之间存在联系, 抗氧化剂通过自身的还原作用给出电子, 从而清除自由基, 还原力越大, 抗氧化性越强<sup>[29]</sup>。由图 4 可知, 草莓经干燥处理后, 对 -OH 的清除率有所提高, 这可能是由于干燥草莓片中总酚和黄酮含量较高而产生的, 新鲜草莓对 DPPH 清除率为 94.30%, 但经干燥后草莓片对 DPPH 清除率却有所下降。对照组草莓片对 -OH 和 DPPH 的清除率分别为 114.12% 和 49.35%, 而糖渗透和超声处理后, 干燥草莓片对 -OH 和 DPPH 的清除率得到显著提高 ( $p < 0.05$ ), 其中, 以蔗糖结合超声处理 (实验组 6) 效果最为显著, 其对 -OH 和 DPPH 的清除率分别为 120.84% 和 90.38%, 其次是蔗糖渗透 (实验组 3) 和果糖渗透处理, 葡萄糖效果较差。一些研究表明, 还原能力主要归因于与抗氧化活性相关的生物活性化合物, 这些生物活性化合物, 包括抗坏血酸、总酚、黄酮和其他亲水或疏水性抗氧化剂, 存在于草莓中, 是良好的电子供体, 并且可以通过将自由基转

化为更稳定的产物来终止自由基链反应<sup>[30,31]</sup>。由此可见, 糖渍和超声处理能提高干燥草莓片对 -OH 和 DPPH 的清除率, 且蔗糖结合超声效果最佳。

## 3 结论

本实验结果表明, 蔗糖、果糖、葡萄糖、蔗糖结合超声渗透预处理能显著提高干燥草莓片感官品质以及花色苷、总酚、黄酮、Vc 含量等活性成分以及抗氧化能力 ( $p < 0.05$ ), 其中蔗糖结合超声前处理水分含量最低, 硬度最高, 而经蔗糖渗透前处理的草莓片干燥后色泽与新鲜草莓最接近, a\* (红色) 最高; 干燥后草莓片的花色苷、总酚和黄酮含量均高于鲜样, 但 Vc 含量大大降低, 其中干燥草莓片经蔗糖结合超声预处理后花色苷、总酚和黄酮含量最高, 分别为 22.68 g/L、7.52 mg/g、10.38 mg/g, 其对 -OH 和 DPPH 清除率分别为 120.84% 和 90.38%, 高于其他处理组, 但糖渗透和超声处理并不能提高草莓片 Vc 含量和铁离子还原能力; 三种糖渗透处理均能提高干燥草莓片品质, 且蔗糖效果最佳。综上, 糖渗透以及蔗糖结合超声预处理后草莓片感官品质以及抗氧化活性成分含量较高、抗氧化活性较强, 适宜于草莓片的干燥。超声波和渗透作为一种预干燥处理技术的应用为食品工艺创新提供了新的可能性, 开辟了从节能到提高产品质量的食品加工领域。

## 参考文献

- [1] 徐放, 赵鹏宇, 吴小虎, 等. 不同草莓保鲜方法的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 1237-1239  
XU Fang, ZHAO Peng-yu, WU Xiao-hu, et al. Comparison of different preservation methods for strawberries [J]. Anhui Agricultural Science, 2013, 41(3): 1237-1239
- [2] 蒋小雅, 郑炯, 蒋小雅, 等. 不同干燥方式对梨干质构特性和微观结构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(3): 137-141  
JIANG Xiao-ya, ZHENG Jiong, JIANG Xiao-ya, et al. Effects of different drying methods on dry texture and microstructure of pear [J]. Food and fermentation industry, 2016, 42(3): 137-141
- [3] 兰伟, 刘青. 阜阳草莓产业发展现状问题及对策研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 13(13): 295-297  
LAN Wei, LIU Qing. Development status, problems and countermeasures of strawberry industry in Fuyang [J]. Anhui Agricultural Science, 2015, 13(13): 295-297
- [4] Mandala I G, Anagnostaras E F, Oikonomou C K. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics [J]. Journal of Food

- Engineering, 2005, 69(3): 307-316
- [5] Rastogi N K, Raghavarao K S M S, Niranjana K, et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer [J]. Trends in Food Science & Technology, 2002, 13(2): 48-59
- [6] Zafra-Rojas Q Y, Cruz-Cansino N, Ramirez-Moreno E, et al. Effects of ultrasound treatment in purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2013, 20(5): 1283-1288
- [7] Rodrigues S. Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits [J]. Drying Technology, 2008, 26(12): 1509-1516
- [8] Oliveira F I P, Gallão M I, Rodrigues S, et al. Dehydration of malay apple (*Syzygium malaccense* L.) using ultrasound as pre-treatment [J]. Food & Bioprocess Technology, 2011, 4(4): 610-615
- [9] Azoubel P M, Baima M D A M, Amorim M D R, et al. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 97(2): 194-198
- [10] 陈杭君,王翠红,邵海燕,等.不同包装方法对蓝莓采收后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J].中国农业科学,2013,46(6): 1230-1236
- CHEN Hang-jun, WANG Cui-hong, GAO Hai-yan, et al. Effects of different packaging methods on postharvest storage quality and antioxidant activity of blueberries [J]. China Agricultural Sciences, 2013, 46(6): 1230-1236
- [11] 李静,聂继云,李海飞,等.Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J].果树学报,2008,1:126-131
- LI Jing, NIE Ji-yun, LI Hai-fei, et al. Conditions for determination of total polyphenol content in fruits and products by Folin-phenol method [J]. Journal of Fruit Science, 2008, 1: 126-131
- [12] 张成,朱科谕,张庞文,等.苍耳子,田基黄中黄酮类物质提取含量测定及对比研究[J].中国农学通报,2014,6:306-313
- ZHANG Cheng, ZHU Ke-zhen, ZHANG Pang-wen, et al. Determination and comparative study on extraction content of flavonoids from xanthium and Tianji Huang [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 6: 306-313
- [13] Oyaizu, M. Studies on products of browning reactions: Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from Glucosamine [J]. Japanese Journal of Nutrition, 1986, 44: 307-315
- [14] 陈月英,王彦平,孙瑞琳,等.葡萄皮渣原花青素微波辅助提取工艺的优化及其抗氧化活性研究[J].北方园艺,2016,11: 123-126
- CHEN Yue-ying, WANG Yan-ping, SUN Rui-lin, et al. Optimization of microwave-assisted extraction process of grape anthocyanin proanthocyanins and its antioxidant activity [J]. Northern Horticulture, 2016, 11: 123-126
- [15] Atoui AK, Mansouri A, Boskou G, et al. Tea and herbal infusions: Their antioxidant activity and phenolic profile [J]. Food Chemistry, 2005, 89(1): 27-36
- [16] Zhang L, Chen F, Yang H, et al. Changes in firmness, pectin content and nanostructure of two crisp peach cultivars after storage [J]. LWT- Food Science and Technology, 2010, 43(1): 26-32
- [17] Sueli Rodrigues, Fabiano A. N. Fernandes. Use of ultrasound as pretreatment for dehydration of melons [J]. Drying Technology, 2007, 25(10): 1791-1796
- [18] Baslar M, Kiliçli M, Yalınkılıç B. Dehydration kinetics of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 27: 495-502
- [19] Fernandes F A N, Jr F E L, Rodrigues S. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2008, 15(6): 1049-1054
- [20] Óscar Rodríguez, Llabrés P J, Simal S, et al. Intensification of predrying treatments by means of ultrasonic assistance: Effects on water mobility, PPO activity, microstructure, and drying kinetics of apple [J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8(3): 503-515
- [21] 徐雅琴,于泽源.草莓红色素稳定性的研究[J].食品与发酵工业,2000,26(4):13-16
- XU Ya-qin, YU Ze-yuan. Study on the stability of strawberry red pigment [J]. Food and Fermentation Industry, 2000, 26(4): 13-16
- [22] Kaur M. Thermal colour degradation kinetics of mango puree [J]. International Journal of Food Properties, 2002, 5(2): 359-366
- [23] Vieira da Silva Júnior, E., Lins de Melo, Lí., Batista de Medeiros, R.A., Pimenta Barros, Z.M., Azoubel, Patr. Moreira., Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters [J]. LWT-Food Science and Technology, 2018
- [24] 施丽愉,陈伟,苏新国,等.糖代谢调控杨梅果实采收后抗氧化活性机制研究进展[J].食品安全质量检测学报,2013,6: 1678-1682
- SHI Li-Yu, CHEN Wei, SU Xin-Guo, et al. Research progress in the mechanism of glucose metabolism regulating post-harvest antioxidant activity of Chinese bayberry fruit [J].

- Journal of Food Safety and Quality, 2013, 6: 1678-1682
- [25] 茅林春,吴涛,方雪花.氯化钙和热处理对鲜切南瓜的保鲜作用[J].中国食品学报,2007,7(1):115-119  
MAO Lin-chun, WU Tao, FANG Xue-hua. Preservation effect of calcium chloride and heat treatment on fresh-cut pumpkin [J]. Chinese Journal of Food Science, 2007, 7(1): 115-119
- [26] 唐璐璐.干燥方式对丰水梨片干燥特性及品质影响的研究[D].新疆:塔里木大学,2016  
TANG Lu-lu. Study on the effect of drying method on drying characteristics and quality of Fengshui pear slices [D]. XinJiang: Tarim University, 2016
- [27] Masuzawa N, Ohdaira E, Ide M. Effects of ultrasonic irradiation on phenolic compounds in wine [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2014, 39(5): 2978-2979
- [28] 甄天元,彭晓蓓,李文香,等.丁香提取液对鲜切西兰花保鲜效果的影响[J].食品科学,2011,32(10):279-282  
ZHAN Tian-yuan, PENG Xiao-bei, LI Wen-xiang, et al. Effect of clove extract on fresh-cut broccoli [J]. Food Science, 2011, 32(10): 279-282
- [29] 吴琼,刘奕,吴庆园,等.不同干燥方式对葛根全粉抗氧化性能和香气成分的影响[J].食品科学,2017,38(6):202-208  
WU Qiong, LIU Yi, WU Qing-yuan, et al. Effects of different drying methods on antioxidant properties and aroma components of *Pueraria lobata* powder [J]. Food Science, 2017, 38(6): 202-208
- [30] Siddhuraju P, Mohan P S, Becker K. Studies on the antioxidant activity of Indian Laburnum (*Cassia fistula* L.): A preliminary assessment of crude extracts from stem bark, leaves, flowers and fruit pulp [J]. Food Chemistry, 2002, 79(1): 61-67
- [31] Suvarnakuta P, Chaweerungrat C, Devahastin S. Effects of drying methods on assay and antioxidant activity of xanthones in mangosteen rind [J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 240-247