

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.06.012

# 热风微波耦合干燥结合 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 熏蒸对不同贮藏条件下冬枣品质的影响

李自芹<sup>1</sup>, 陈雅<sup>2</sup>, 李文绮<sup>3</sup>, 党富民<sup>1</sup>, 刘成江<sup>1</sup>, 马小宁<sup>1</sup>, 金新文<sup>1</sup>, 贾文婷<sup>1\*</sup>

(1. 新疆农垦科学院, 新疆石河子 832000; 2. 新疆农业科学院吐鲁番农业科学研究所, 新疆吐鲁番 838099; 3. 石河子质量与计量检测所, 新疆石河子 832000)

**摘要:** 为探究热风微波耦合干燥结合过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)熏蒸对不同贮藏条件下绿糖心冬枣品质的影响,以绿糖心冬枣为研究对象,果实干燥前采用 5% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 熏蒸 10 min,利用热风微波耦合干燥设备对果实进行干燥,采用纳米聚乙烯微孔保鲜膜对其包装。分别在室温、保鲜库(0℃)和精准相温库(0℃)中贮藏 300 d,每隔 60 d 测定一次冬枣的各项生理指标,分析绿糖心冬枣在贮藏期间品质变化的规律。结果表明,热风微波耦合干燥结合 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 熏蒸处理的冬枣,保鲜库、精准相温库贮藏与室温贮藏相比,可较好抑制冬枣的瘪枣率和失重率,延缓冬枣的可溶性固形物、抗坏血酸、可滴定酸和总酚含量的下降速率。与保鲜库及室温贮藏冬枣相比,精准相温库贮藏能够有效阻止果实营养成分的流失,最大限度地保持果实的贮藏品质。

**关键词:** 绿糖心冬枣;过氧化氢;干燥;贮藏方式;品质

## Influence of Coupled Drying with Hot Air and Microwave Combined with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Fumigation for Quality of Winter Jujube under Different Storage Conditions

LI Ziqin<sup>1</sup>, CHEN Ya<sup>2</sup>, LI Wenqi<sup>3</sup>, DANG Fumin<sup>1</sup>, LIU Chengjiang<sup>1</sup>, MA Xiaoning<sup>1</sup>, JIN Xinwen<sup>1</sup>, JIA Wenting<sup>1\*</sup>

(1. Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi 832000, Xinjiang, China; 2. Turpan Agricultural Science Research Institute of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Turpan 838099, Xinjiang, China; 3. Shihezi Quality and Measurement Institute, Shihezi 832000, Xinjiang, China)

**Abstract:** To investigate the influence of coupled drying with hot air and microwave combined with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fumigation on the quality of green and sweet winter jujube under different storage conditions, green and sweet winter jujube from the 50th regiment was taken as the research object. Before fruit drying, 5% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fumigation was carried out for 10 minutes, and the fruit was dried by using coupled drying equipment of hot air and microwave. Nano polyethylene microporous preservation film was used for packaging. The winter jujube was stored at room temperature, in fresh-keeping storehouse (0℃), and in precise phase temperature storehouse (0℃) for 300 days, and the physiological indicators were measured every 60 days to analyze the quality changes of the green and sweet winter jujube during storage. The results showed that the winter jujube treated with coupled drying with hot air and microwave combined with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fumigation had a lower withering rate and weight loss rate when stored in a fresh-keeping storehouse and a precise phase temperature storehouse compared with that stored at room temperature. The decreasing rate of soluble solids, ascorbic acid, titratable acid, and total phenolic content in winter jujube was delayed. Compared with fresh-keeping storehouse or room temperature, precise phase temperature storage could effectively prevent the loss of nutritional components in winter jujube and maximize the quality preservation of the fruits.

**Key words:** green and sweet winter jujube; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; drying; mode of storage; quality

基金项目:兵团创新科技人才计划项目(2021CB029);兵团英才青年项目(2023-2025);枣质量安全与加工保鲜项目(CARS-30-5-04);新疆兵团红枣质量安全关键危害因子风险评估(BTNA2023);兵团富硒土壤区农产品重金属风险评估项目

作者简介:李自芹(1986—),女(汉),助理研究员,硕士,研究方向:农产品加工及贮藏工程。

\*通信作者:贾文婷(1987—),女,副研究员,硕士,研究方向:农产品加工及贮藏工程。

引文格式:

李自芹,陈雅,李文绮,等.热风微波耦合干燥结合H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>熏蒸对不同贮藏条件下冬枣品质的影响[J].食品研究与开发,2024,45(6):85-89,119.

LI Ziqin, CHEN Ya, LI Wenqi, et al. Influence of Coupled Drying with Hot Air and Microwave Combined with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Fumigation for Quality of Winter Jujube under Different Storage Conditions[J]. Food Research and Development, 2024, 45(6): 85-89, 119.

红枣,俗称大枣、干枣等,是鼠李科枣属的果实,具有丰富的营养和医药价值<sup>[1]</sup>。我国红枣出口量为世界第一,产量占世界总产量的90%以上,拥有较高的经济价值<sup>[2]</sup>。由于鲜枣生产季节性强,上市较集中,鲜枣采后短时间内会失水皱缩、褐变,易滋生微生物、霉变,并且会出现酒化、变软腐烂等现象,容易失去其商品价值,不宜长期贮藏<sup>[3]</sup>,严重制约着我国红枣产业的发展。对冬枣进行干燥处理,不仅可以克服鲜食冬枣贮藏保鲜产业的难题,同时干燥后的冬枣还具有其独特的风味品质<sup>[4]</sup>。但是,在不同的干燥过程中,冬枣的营养成分极易损失而造成品质下降,所以选择适宜的干燥和贮藏条件,最大限度地减少冬枣在干燥和贮藏过程中营养的损失显得尤为重要<sup>[5]</sup>。因此,提升冬枣干燥技术和贮藏条件,对于提高冬枣的商品率、增加其附加值、促进农民增收、产业发展具有积极的作用。

热风与微波耦合干燥是将热风和微波两种方式有机结合的干燥技术,耦合干燥期间,热风与微波在整个干燥过程共同对物料进行干燥,耦合干燥在国外的实验室有较多的研究<sup>[6]</sup>。和传统的干燥方式相比,热风与微波耦合干燥方式节约了干燥时间,减少了微波对物料加热的不均匀性,而且还可提高被干燥物料的品质<sup>[7]</sup>。

精准相温是在冰温和相温保鲜的基础上产生的一种新型保鲜技术,其具有传热不传质、不加湿恒湿、冷风机不结霜、四阶控温精度在 $\pm 0.01$  °C、流相防腐等特点<sup>[8]</sup>。精准相温贮藏冬枣,能最大限度地抑制果实表面微生物的生长繁殖,减少营养成分的流失、延长冬枣的贮藏期。

果蔬脱水干燥技术是重要的脱水技术,是解决鲜食果蔬保鲜贮藏难、商品率低的重要手段,在果蔬加工上普遍采用<sup>[9]</sup>。干燥后的果蔬质量会变轻,既可节约果蔬的搬运和运输成本,也避免了鲜食果蔬由于贮藏难造成的滞销跌价、资源浪费等现象<sup>[10]</sup>。目前,红枣机械化干燥技术发展迅速,分为热风干燥、真空干燥、真空微波干燥、真空冷冻干燥、变温压差膨化干燥等<sup>[11]</sup>。近年来,张小燕等<sup>[12]</sup>采用热风干燥设备干燥苹果片,发现其设备操作简单、成本低,但干燥效率较低、容易破坏苹果的品质;陈学玲等<sup>[13]</sup>发现真空冷冻干燥技术有助于改善猕猴桃片的整体品质和风味物质,但

设备成本高、干燥效率较低;王庆卫等<sup>[14]</sup>研究发现中短波红外干燥技术提高了红枣的抗氧化活性;热风微波耦合干燥设备,即微波和热风共同作用于果蔬,可以缩短干燥时间,提高产品质量,在农产品和食品加工业中具有较大的发展前景。刘旭等<sup>[15]</sup>研究发现热风微波耦合干燥较好地保留了西芹干燥后的色度和感官品质。贮藏时的温度直接影响着枣果的贮藏品质和寿命,贮藏环境温度越高,枣果的货架期及贮藏寿命就越短<sup>[16]</sup>。红枣的贮藏方式主要分为室温贮藏、保鲜库贮藏以及近冰温贮藏等方式,低温贮藏已成为一种被广泛采用的枣果贮藏方式<sup>[17]</sup>。

目前,对于红枣的干制研究以传统热风干燥与新型干燥方式进行对比较多,对于果实干燥前采用保鲜剂预处理,利用功率可调的热风微波耦合干燥设备干燥冬枣后在不同贮藏环境下贮藏,探究其贮藏品质的研究较为少见。侯倩<sup>[18]</sup>研究发现红枣干燥前喷洒0.2 g/L 纳他霉素有利于保留红枣的营养和提高贮藏品质。本研究采用一种功率可调的热风微波耦合干燥设备结合过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)熏蒸处理,对绿糖心冬枣贮藏前进行干燥,探究不同贮藏环境对冬枣贮藏期间品质变化的影响,以期对红枣的干燥生产及贮藏保鲜提供一定的技术参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与仪器

绿糖心冬枣:2021年9月26日采摘于新疆第三师图木舒克市50团,人工挑选果实成熟度一致、大小均匀、无伤和病虫害的果实,及时运回实验室,预冷后置于保鲜库(1 °C)中贮藏备用。

热风微波耦合干燥设备:新疆农垦科学院农产品加工研究所研制;纳米聚乙烯微孔保鲜袋(N):天津科技大学提供;30%过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、TD-45数显糖度计、HTC-1温湿度计:新疆沃德生物科技有限责任公司;752G紫外可见分光光度计:上海仪电控股(集团);PHSJ-6L自动电位滴定仪:上海仪电科学仪器有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 样品处理

绿糖心冬枣平均湿基含水率为(58.3 $\pm$ 0.3)%,将其

分为4组,每组200 kg。

经过前期试验,  $H_2O_2$  体积分数为3%、5%、7%, 每种浓度熏蒸时间分别采用6、8、10 min 均能不同程度抑制枣果在贮藏期间微生物的生长和提高果实的品质。从节约成本方面考虑, 最终选取  $H_2O_2$  体积浓度为5%、熏蒸时间为10 min 进行后续试验。

处理组 A(室温贮藏): 5%  $H_2O_2$  熏蒸 10 min 处理后, 将果实采用热风微波耦合干燥设备进行处理, 将其干燥至干基含水率为40%左右, 装入微孔保鲜袋(N)中, 室温下贮藏。

处理组 B(保鲜库贮藏): 5%  $H_2O_2$  熏蒸 10 min 处理后, 将果实采用热风微波耦合干燥进行处理, 将其干燥至干基含水率为40%左右, 装入微孔保鲜袋(N)中, 置于0℃、相对湿度为40%~45%的保鲜库中贮藏。

处理组 C(精准相温库贮藏): 5%  $H_2O_2$  熏蒸 10 min 处理后, 将果实采用热风微波耦合干燥进行处理, 将其干燥至干基含水率为40%左右, 装入微孔保鲜袋(N)中, 置于0℃的精准相温库中贮藏。

以上各处理组绿糖心冬枣在不同贮藏环境下贮藏300 d, 每隔60 d 测定一次果实的各项指标。

## 1.2.2 指标测定

### 1.2.2.1 冬枣瘪枣率的测定

参照侯倩<sup>[18]</sup>的方法测定冬枣瘪枣率, 计算公式如下。

$$W = A/B \times 100$$

式中:  $W$  为瘪枣率, %;  $A$  为瘪枣个数;  $B$  为总枣个数。

### 1.2.2.2 冬枣失重率的测定

采用称重法<sup>[19]</sup>测定冬枣失重率, 失重率计算公式如下。

$$P = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100$$

式中:  $P$  为失重率, %;  $M_1$  为贮前质量, kg;  $M_2$  为贮后质量, kg。

### 1.2.2.3 冬枣可溶性固形物(soluble solids, SS)含量的测定

采用数显糖度计测定绿糖心冬枣可溶性固形物的含量, 单位为%。

### 1.2.2.4 冬枣可滴定酸(titratable acidity, TA)含量的测定

采用自动电位滴定仪测定冬枣 TA 含量<sup>[20]</sup>, 每组处理每次取枣果3 kg, 测定3次, 取其平均值, 单位为%。

### 1.2.2.5 冬枣抗坏血酸(ascorbic acid, AA)含量的测定

参照曹建康等<sup>[21]</sup>的方法, 用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定冬枣 AA 含量, 单位为 mg/100 g。

### 1.2.2.6 冬枣总酚含量的测定

参照梁美宜等<sup>[22]</sup>方法, 称3 g 果肉, 每个样品分3次用1% HCl-甲醇10 mL 浸取12 h 后混匀, 在4 000 r/min

离心10 min, 上清液即为酶提取液。用福林酚法测定760 nm 处酶液的吸光度。

## 1.3 数据分析

采用 Excel 软件绘图, SPSS 进行统计分析,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 果实瘪枣率的变化

果实瘪枣率的变化如图1所示。

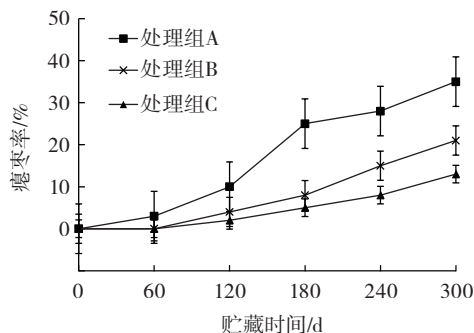


图1 果实瘪枣率的变化

Fig.1 Change of withering rate of winter jujube

由图1可知, 不同贮藏条件下的冬枣在贮藏期间果实表皮的瘪枣率体现出较明显的差异, 在整个贮藏期间, 各处理组瘪枣率大小分别是处理组 A>处理组 B>处理组 C。室温下贮藏的冬枣瘪枣率始终大于其他处理组。贮藏第300天, 处理组 A 冬枣瘪枣率达到35%, 分别比处理组 B、处理组 C 高14%和22%, 说明  $H_2O_2$  结合热风微波耦合干燥的冬枣在精准相温库中贮藏能更好地抑制果皮的干瘪, 保持果实的外观品质。

### 2.2 果实失重率的变化

通过失重率可判断果实水分的挥发程度<sup>[23]</sup>。果实失重率的变化如图2所示。

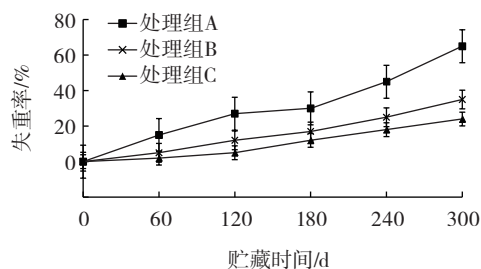


图2 果实失重率的变化

Fig.2 Change of weight loss rate of winter jujube

由图2可知, 处理组 A、处理组 B、处理组 C 果实的失重率随着贮藏时间的延长, 表现出整体上升的趋势, 处理组 A 的失重率明显高于处理组 B 和处理组 C, 贮藏第300天, 处理组 A 的失重率为65%, 较处理组 B、处理组 C 高出30%和41% ( $P < 0.05$ ), 说明  $H_2O_2$  结合热风微波耦合干燥的冬枣, 在保鲜库和精准相温

库贮藏均较好地保持了果实的水分含量,其中精准相温库对贮藏期间果实的水分含量保持最好。

### 2.3 果实可溶性固形物(SS)含量的变化

SS是衡量果实风味品质的重要指标,主要指可溶性糖类,包括单糖、双糖和多糖<sup>[24]</sup>。果实可溶性固形物含量的变化如图3所示。

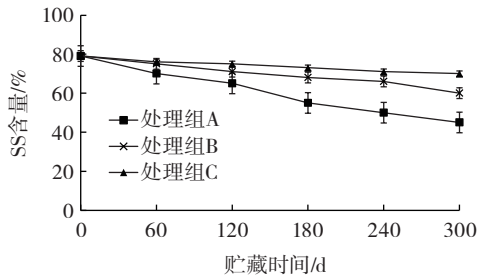


图3 果实SS含量的变化  
Fig.3 Changes of SS of winter jujube

由图3可知,冬枣在贮藏期间,处理组A、处理组B、处理组C果实的SS含量整体呈缓慢下降的趋势,其中处理组A果实SS含量下降较快,在贮藏第180天时,处理组A果实的SS含量为55%,处理组B和处理组C果实的SS含量分别为68%和73%,说明H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>结合热风微波耦合干燥的冬枣,在保鲜库和精准相温库中贮存,可延缓果实SS含量的减少,保留了果实的风味品质。

### 2.4 果实可滴定酸(TA)含量的变化

可滴定酸(TA)是影响果实风味品质的重要因素,也是反映果实贮藏特性的重要指标<sup>[25]</sup>。果实可滴定酸含量的变化如图4所示。

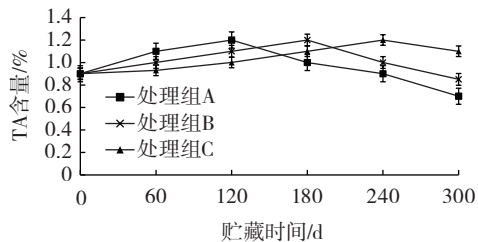


图4 果实TA含量的变化  
Fig.4 Changes of TA of winter jujube

由图4可知,在整个贮藏期间,处理组A、处理组B、处理组C冬枣的TA含量均呈先上升又下降的趋势。在贮藏前120d,处理组A果实的TA含量普遍高于处理组B和处理组C,可能是室温贮藏的环境温度高于保鲜库和精准相温库,促进了果实体内有机物的分解,进而使TA含量升高,在120d以后,随着贮藏时间的延长,室温下贮藏的果实呼吸和生理代谢作用较处理组B、处理组C活跃,使得TA含量被较快分解消耗,导致处理组A果实TA含量明显低于处理组B、处理组C。在贮藏第300天时,处理组C果实TA含量

较处理组A和处理组B,分别高57.1%和17.6%,说明H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>结合热风微波耦合干燥的冬枣,在精准相温库中贮藏能更好地保持果实中TA含量,提高果实的风味品质。

### 2.5 果实抗坏血酸(AA)含量的变化

抗坏血酸在果蔬体内参与多种反应,在生物氧化和还原作用以及细胞的呼吸代谢中起着重要的作用<sup>[26-27]</sup>。果实AA含量的变化如图5所示。

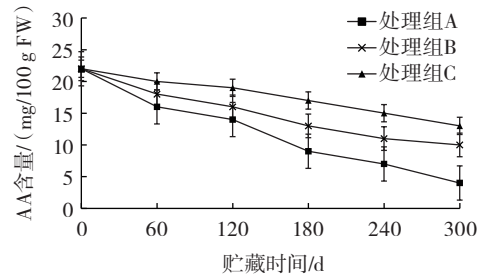


图5 果实抗坏血酸含量的变化  
Fig.5 Changes of ascorbic acid of winter jujube

由图5可知,各处理组果实在贮藏期间AA含量均呈下降趋势,处理组B和处理组C果实的AA含量在整个贮藏期间均高于处理组A。在贮藏第300天时,处理组C果实AA含量分别比处理组A和处理组B高9 mg/100 g FW(以鲜重计)和6 mg/100 g FW,说明H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>结合热风微波耦合干燥的冬枣,在精准相温库中贮藏较好地抑制果实体内AA含量的下降,保持了果实在贮藏期间的营养成分。

### 2.6 果实总酚含量的变化

酚类物质含量是评价枣果品质的一个重要因素,贮藏期间果实酚类含量的高低也是评价贮藏方式是否优良的重要指标<sup>[28]</sup>。果实总酚含量的变化如图6所示。

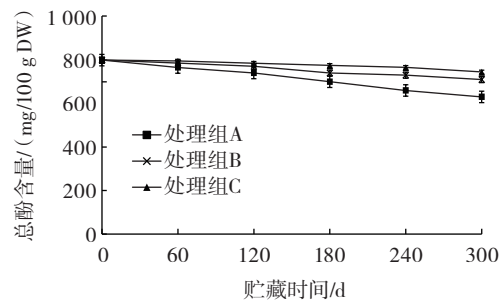


图6 果实总酚含量的变化  
Fig.6 Changes of total phenols of winter jujube

由图6可知,各处理组果实在整个贮藏期间的总酚含量呈缓慢下降的趋势,果实总酚含量的大小为处理组C>处理组B>处理组A,在贮藏第300天时,处理组C果实的总酚含量为745.1 mg/100 g DW(以干重计),比处理组A高114.6 mg/100 g DW,说明H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>结合热风微波耦合干燥的冬枣,在精准相温库中贮藏较

保鲜库和室温贮藏能更好地保持果实的总酚含量,提高冬枣的贮藏品质。

### 3 结论

本研究采用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 熏蒸结合热风微波耦合干燥处理绿糖心冬枣,分别在室温、保鲜库和精准相温库中贮藏,定期测定冬枣各项指标。结果显示,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 熏蒸结合热风微波耦合干燥处理的冬枣在保鲜库和精准相温库贮藏较室温下贮藏有效抑制了果实的瘪枣率和失重率,延缓了冬枣的 SS、AA、TA 和总酚含量的下降速率,较好地保持了果实的风味品质和贮藏品质。精准相温库贮藏的冬枣贮藏品质最好,冬枣在热风微波耦合干燥前进行 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 熏蒸处理,干燥处理后在精准相温库中贮藏,此方法作为一种新的、有效的贮藏保鲜技术,可为冬枣贮藏保鲜技术的推广和应用提供一定的技术支持。

### 参考文献:

- [1] 龚频,王佩佩,同美霖,等. 红枣多糖的提取工艺及药理活性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 198-207.  
GONG Pin, WANG Peipei, TONG Meilin, et al. Study on extraction technology and pharmacological activities of polysaccharide from *Ziziphus jujube*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(13): 198-207.
- [2] 李顺红. 红枣果酒的工艺及品质分析研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2022.  
LI Shunhong. Research on technology and quality analysis of jujube wine[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2022.
- [3] 徐冬梅,张燕宁,张兰,等. 不同贮藏温度对新疆骏枣和灰枣干果品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(5): 189-192.  
XU Dongmei, ZHANG Yaning, ZHANG Lan, et al. Effect of different storage temperature on the quality of dried Junzao jujube and grey jujube[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(5): 189-192.
- [4] 贾文婷,张冉冉,李文绮,等. 红枣热风微波耦合干燥工艺优化及干燥特性和微观结构研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(20): 269-278.  
JIA Wenting, ZHANG Ranran, LI Wenqi, et al. Optimization of hot air-microwave coupling drying process for red dates and study on drying characteristics and microstructure of *Ziziphus jujuba* Mill[J]. Journal of Food Safety & Quality Testing, 2023, 14(20): 269-278.
- [5] 迟岩. 干制灰枣贮藏褐变控制技术的研究与应用[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.  
CHI Yan. Research and application of browning control technology in storage of dried grey jujube[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.
- [6] LI X L, LIU J, CAI J X, et al. Drying characteristics and processing optimization of combined microwave drying and hot air drying of *Termitomyces albuminosus* mushroom[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(12): 45-62.
- [7] JIA Y Y, KHALIFA I, HU L L, et al. Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques[J]. Food and Bioproducts Processing, 2019, 118: 67-76.
- [8] 张鹏,颜碧,贾晓昱,等. 精准温度处理对鲜切莲藕褐变、生理和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 347-354.  
ZHANG Peng, YAN Bi, JIA Xiaoyu, et al. Effects of precise temperature treatment on the browning, physiological and quality of fresh cut lotus root[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(16): 347-354.
- [9] 李琳,王桢. 果蔬干燥技术研究进展[J]. 中国果菜, 2020, 40(3): 9-17.  
LI Lin, WANG Zhen. Research progress on drying technologies of fruits and vegetables[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(3): 9-17.
- [10] BOATENG I D. Recent processing of fruits and vegetables using emerging thermal and non-thermal technologies. A critical review of their potentialities and limitations on bioactives, structure, and drying performance[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 4: 1-35.
- [11] CALÍN - SÁNCHEZ Á, LIPAN L, CANO - LAMADRID M, et al. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs[J]. Foods, 2020, 9(9): 1261.
- [12] 张小燕,张宗营,彭勇,等. 热风干燥和真空冷冻干燥对'美红'苹果片干燥特性及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(23): 208-215.  
ZHANG Xiaoyan, ZHANG Zongying, PENG Yong, et al. Effects of hot-air drying and vacuum freeze-drying on drying characteristics and quality of 'Meihong' apple slices[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(23): 208-215.
- [13] 陈学玲,黄文俊,钟彩虹,等. 超声预处理对真空冷冻干燥猕猴桃片品质的改善作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(16): 5314-5319.  
CHEN Xueling, HUANG Wenjun, ZHONG Caihong, et al. Improvement of quality of vacuum freeze drying kiwifruit slices by ultrasonic pretreatment[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(16): 5314-5319.
- [14] 王庆卫,刘启玲,崔胜文. 不同干燥方式对红枣营养品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(12): 218-222.  
WANG Qingwei, LIU Qiling, CUI Shengwen. The effect of different drying methods on the nutritional quality and antioxidant activity of jujube[J]. The Food Industry, 2020, 41(12): 218-222.
- [15] 刘旭,宋春芳. 基于气味检测的西芹茎热风微波耦合干燥控制[J]. 食品与机械, 2022, 38(6): 131-136.  
LIU Xu, SONG Chunfang. Microwave coupled hot-air drying control of celery stalks based on volatile compounds detection[J]. Food & Machinery, 2022, 38(6): 131-136.
- [16] 马林界. 干制、贮藏及包装材料对红枣香气的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022.  
MA Linjie. Effects of drying, storage and packaging materials on Chinese jujube aroma[D]. Ala'er: Tarim University, 2022.
- [17] YU Y, GUO W B, LIU Y X, et al. Effect of composite coating treatment and low-temperature storage on the quality and antioxidant capacity of Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* cv. Junzao)[J]. Scientia Horticulturae, 2021, 288: 110372.
- [18] 侯倩. 干制与贮藏方法对枣果品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.  
HOU Qian. Influences of different drying and storage methods on the quality of Chinese jujube fruit[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2012.
- [19] 王梦韦. 不同处理方式对鲜切芦笋保鲜效果的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.

- terization of coriander (*Coriandrum sativum*L.) seeds and leaves: Volatile and non volatile extracts[J]. International Journal of Food Properties, 2012, 15(4): 736-747.
- [14] 王东营,董颖,孟雨东,等. 响应面法优化水蒸气蒸馏提取芫荽精油的工艺研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(5): 183-186, 196.  
WANG Dongying, DONG Ying, MENG Yudong, et al. Optimization of steam distillation extraction of essential oils from *Coriandrum sativum* L. by response surface methodology[J]. China Condiment, 2022, 47(5): 183-186, 196.
- [15] WANG D Y, YANG H D, LU X J, et al. The inhibitory effect of chitosan based films, incorporated with essential oil of *Perilla frutescens* leaves, against *Botrytis cinerea* during the storage of strawberries[J]. Processes, 2022, 10(4): 706.
- [16] 钟秋夏,郑海英,朱燕丽,等. 百里香酚微胶囊的制备及其对草莓的保鲜效果[J]. 食品科学, 2023, 44(11): 167-176.  
ZHONG Qiuxia, ZHENG Haiying, ZHU Yanli, et al. Preparation of thymol-containing microcapsules and its application in strawberry preservation[J]. Food Science, 2023, 44(11): 167-176.
- [17] 吴子龙,张浩,王泽熙,等. 壳聚糖-姜精油涂膜对草莓贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 169-174.  
WU Zilong, ZHANG Hao, WANG Zexi, et al. The storage quality effects of chitosan and ginger essential oil composited coating on strawberry[J]. Food Research and Development, 2018, 39(22): 169-174.
- [18] 杨蕾. 姜叶提取物/壳聚糖在食品包装膜和草莓保鲜涂液中的应用研究[D]. 成都大学, 2023.
- YANG Lei. Application of ginger leaf extract/chitosan composite in food packaging and its preservation coating in strawberry[D]. Chengdu University, 2023.
- [19] YANG X, ZHANG C, LI Q F, et al. Physicochemical properties of plasma-activated water and its control effects on the quality of strawberries[J]. Molecules, 2023, 28(6): 2677.
- [20] 丁华,王建清,王玉峰,等. 4种植物精油对草莓致病菌的抑制作用研究[J]. 包装学报, 2016, 8(3): 1-7.  
DING Hua, WANG Jianqing, WANG Yufeng, et al. Inhibitory effects of four plant essential oils against pathogens of strawberry[J]. Packaging Journal, 2016, 8(3): 1-7.
- [21] JAVANMARDI Z, KOUSHESH SABA M, NOURBAKHS H, et al. Efficiency of nanoemulsion of essential oils to control *Botrytis cinerea* on strawberry surface and prolong fruit shelf life[J]. International Journal of Food Microbiology, 2023, 384: 109979.
- [22] 姜加良,王雪丽,韩颖. 银杏叶提取物/阿拉伯胶复合涂膜对草莓保鲜效果的影响[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(2): 211-218.  
JIANG Jialiang, WANG Xueli, HAN Ying. Effect of *Ginkgo biloba* leaves extract/gum Arabic composite coating on strawberry preservation[J]. China Food Additives, 2023, 34(2): 211-218.
- [23] MARANGONI C, DE MOURA N F. Antioxidant activity of essential oil from *Coriandrum Sativum* L. in Italian salami[J]. Ciéncia e Tecnologia De Alimentos, 2011, 31(1): 124-128.

加工编辑:王雪

收稿日期:2023-09-19

(上接第89页)

- WANG Mengwei. Study on effects of different treatments on preservation of fresh-cut asparagus[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.
- [20] 孙思胜,张晓娟,张岗,等. 不同浓度肉桂丁香提取物结合壳聚糖涂膜对夏黑葡萄采后生理的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(5): 164-168.  
SUN Sisheng, ZHANG Xiaojuan, ZHANG Gang, et al. Influences of chitosan coating and different concentrations of compound *Cinnamomum cassia* Presl and *Eugenia caryophyllata* Thunb. extracts on postharvest physiology of Summer Black grape[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(5): 164-168.
- [21] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007.  
CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Guidance on postharvest physiological and biochemical experiments of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [22] 梁美宜,蔡延渠,董碧莲,等. 不同桃的品种、树龄对桃胶多糖含量影响的研究[J]. 广东药科大学学报, 2019, 35(3): 369-372.  
LIANG Meiyi, CAI Yanqu, DONG Bilian, et al. Study on the effects of Peach varieties and tree ages on polysaccharide contents of the Peach gum[J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2019, 35(3): 369-372.
- [23] 王思滢,寇莉萍,蔚江涛,等. 1-MCP处理对冬枣低温贮藏期间品质变化的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(22): 64-70.  
WANG Siying, KOU Liping, YU Jiangtao, et al. Effect of 1-MCP treatment on quality of winter jujube during low-temperature storage[J]. Food Research and Development, 2021, 42(22): 64-70.
- [24] YUAN L, LAO F, SHI X, et al. Effects of cold plasma, high hydrostatic pressure, ultrasound, and high-pressure carbon dioxide pretreatments on the quality characteristics of vacuum freeze-dried jujube slices[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2022, 90: 106219.
- [25] FAZIO A, LA TORRE C, CAROLEO M C, et al. Effect of addition of pectins from jujubes (*Ziziphus jujuba* mill.) on vitamin C production during heterolactic fermentation[J]. Molecules, 2020, 25(11): 2706.
- [26] WANG Y, SONG G Y, LIANG D, et al. Comparison of ascorbate metabolism in fruits of two jujube species with differences in ascorbic acid content[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2022, 63(5): 759-767.
- [27] WANG C, LI P Y, ZHANG B B, et al. Combining transcriptomics and polyphenol profiling to provide insights into phenolics transformation of the fermented Chinese jujube[J]. Foods, 2022, 11(17): 2546.
- [28] 胡鑫. 干燥方式对脱水红枣产品品质及风味影响的研究[D]. 喀什:喀什大学, 2022.  
HU Xin. Study on the influence of drying methods on quality and flavor of dehydrated jujube products[D]. Kashi: Kashgar University, 2022.

加工编辑:张岩蔚

收稿日期:2022-12-02