

香菇脆的低温真空油炸工艺优化

陈汉勇¹, 徐国波¹, 杨娟², 王金梅^{3*}

(1. 无限极(中国)有限公司, 广东广州 510665) (2. 岭南师范学院食品科学与工程学院, 广东湛江 524048)
(3. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 该研究以新鲜整颗香菇为原料制备香菇脆, 对低温真空油炸工艺进行优化, 并探究了香菇品种对香菇脆产品品质的影响。结果表明: 加工工艺对香菇脆的理化性质和微观结构影响显著。与先浸渍再冷冻工艺相比, 先冷冻/解冻再浸渍工艺香菇脆的微观结构破坏程度更高, 香菇脆的油脂含量从 5.51% 上升至 8.75%, 总糖含量从 78.04% 下降至 72.75%。麦芽糖浆糖渍液中添加甘蔗汁后, 香菇脆微观结构出现不规则的粗糙孔隙, 总含糖量从 72.21% 降至 59.05%, 油脂含量稍有提升。超声辅助浸渍处理对香菇脆的总糖含量无影响, 但有利于油脂的离心脱除, 其油脂含量降至 5.50%。综合考虑, 使用麦芽糖浆和甘蔗汁混合糖液为糖渍液, 冷冻/解冻、超声辅助浸渍为真空油炸香菇脆的最优生产工艺。另外, 香菇品种对香菇脆的理化、感官、质构性质和微观结构均有影响。香菇尺寸对香菇脆的总糖含量和油脂含量并无显著影响, 但小尺寸香菇脆含水量较低, 感官性质、脆性和酥性均优于大、中尺寸香菇脆。0912 型香菇脆的理化性质和感官评分最优, 且香菇原料市场供应充足稳定, 适合作为工业生产原料。

关键词: 香菇脆; 低温真空油炸; 工艺优化

文章编号: 1673-9078(2021)12-197-204

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.12.0387

Optimization of Low-temperature Vacuum Fried Process for Shiitake Mushroom Crisps

CHEN Hanyong¹, XU Guobo¹, YANG Juan², WANG Jinmei^{3*}

(1. Infinitus (China) Company Ltd., Guangzhou 510665, China)

(2. College of Food Science and Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China)

(3. School of Food Sciences and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Shiitake mushroom crisps were prepared by fresh shiitake mushrooms. Low-temperature vacuum fried process was optimized and the effect of different shiitake mushrooms cultivars on the quality of crisps was evaluated. The results showed that processing mainly affected the physicochemical property and microstructure. Compared to sugaring/freezing process, the microstructure of freezing/thawing/sugaring process crisps was destructed more seriously, leading to an increase in the oil content from 5.51% to 8.75% and a decrease in the total sugar content from 78.04% to 72.25%, respectively. During sugaring treatment, the irregular and rough pores were formed in the microstructure, the total sugar content was decreased from 72.21% to 59.05%, and the lipid content of the crisps was slightly increased, which were attributed to the addition of sugar cane juice into the malt syrup. The ultrasonic treatment had no discernible effect on the total sugar content but was beneficial for the centrifugal removal of oil, with a decrease of oil content to 5.50%. Overall, the best processing techniques for the production of low-temperature vacuum fried shiitake mushroom crisps were freezing/thawing/ultrasonic-assisted sugaring with mixing sugaring solution of malt syrup and sugar cane juice. Additionally, shiitake mushroom cultivars had a strong impact on the physicochemical property, sensory property, texture property and microstructure of crisps. No distinct influence of the size of fresh shiitake mushrooms on the

引文格式:

陈汉勇, 徐国波, 杨娟, 等. 香菇脆的低温真空油炸工艺优化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(12): 197-204

CHEN Hanyong, XU Guobo, YANG Juan, et al. Optimization of low-temperature vacuum fried process for shiitake mushroom crisps [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 197-204

收稿日期: 2021-04-08

基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金项目 (2020A1515010852); 中央高校基本科研业务费项目 (SCUT, 2019MS097)

作者简介: 陈汉勇 (1987-), 男, 工程师, 研究方向: 功能性食品开发, E-mail: hanyong.chen@infinitus-int.com

通讯作者: 王金梅 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工, E-mail: fejmwang@scut.edu.cn

content of total sugar and lipid was observed. Minor-sized shiitake mushroom crisps presented lower moisture content, better sensory property and crispness than medium and large-sized crisps. Mushroom type 0912 exhibited the best physicochemical and sensory properties, and the market supply of mushroom raw materials is sufficient and stable, which is suitable for industrial production.

Key words: shiitake mushroom crisps; low-temperature vacuum frying process; process optimization

香菇 (*Lentinus edodes* (Berk.) sing), 又称香覃、花菇, 肉质香嫩, 风味鲜美, 富含麦角甾醇、香菇素、香菇多糖等多种生物活性成分^[1], 具有极高的食用和药用价值, 是我国的传统食用菌^[2]。然而, 新鲜香菇的含水量高达 90%, 由于酶促反应和新陈代谢^[3-4], 在常温下贮藏 1~2 d 后, 菌盖及菌褶就会出现褐变现象, 贮藏 4~5 d 即腐败变质^[5], 严重影响其经济价值。为延长香菇的货架期, 烘烤脱水、低温贮藏^[6]、紫外辐射^[7]、气调包装^[8]、臭氧处理^[9]等工艺被应用于香菇贮藏, 但上述工艺多以初级产品如鲜菇或干菇为主, 产品附加值低, 制约了香菇产业的长远发展。

近年来, 果蔬脆以其松脆的口感、丰富的营养性和较长的货架期成为即食休闲食品开发的新热点, 其加工原理是在真空或负压状态下, 通过油炸或非油炸方式在保持果蔬外形及颜色不变的前提下将果蔬中的水分蒸发, 得到终含水量约 5% 的果蔬脆制品^[10]。低温真空油炸工艺是一种最常见的果蔬脆加工工艺, 其低氧、低温的特点可减少营养物质和油脂的氧化, 保存产品的自然色泽和风味, 与非油炸果蔬脆加工工艺相比, 其以食用油为传热介质可促进果蔬内水分的迅速蒸发, 已被广泛应用于香菇脆片^[11]、马铃薯脆片^[12]、苹果脆片^[13]的生产。

前处理工艺和真空油炸参数对果蔬脆品质有显著影响。烫漂前处理有利于钝化酶活, 降低果蔬脆含水量, 改善产品酥脆度^[14]; 冷冻前处理可充分冻结原料中水分, 提高产品质地的疏松度^[15]; 油炸温度、油炸时间和真空度与产品油脂含量和感官品质高度相关^[16]。低温真空油炸工艺是一种传热和传质现象共存的复杂的脱水过程, 油脂作为传热介质将热量向物料内部传递的同时也会被物料表面吸附并向物料内部渗透^[17], 不可避免地物料中引入部分油脂。因此, 降低真空油炸果蔬脆的油脂含量, 改善产品的感官性质已成为了果蔬脆加工的研究重点。本文系统研究了香菇品种、浸渍处理、解冻处理和超声处理对低温真空油炸香菇脆的理化、性质、质构性质和微观结构的影响, 优化了香菇脆的低温真空油炸工艺, 为香菇脆深加工提供技术参考和理论支持。

1 材料与方法

1.1 原料

135 型、212 型、庆科 20 型、808 型和 0912 型香菇, 湖北裕国菇业股份有限公司; 复合多糖粉, 无限极(中国)有限公司; 麦芽糖浆, 嘉吉食品科技(平湖)有限公司; 绿皮甘蔗浓缩汁, 福建绿泉食品有限公司; 五号食用油脂制品, 广州南侨食品有限公司。其余检测试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器设备

Phenom 台式扫描电镜, 美国 FEI 公司; TA.XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; VFI 真空油炸设备(带脱油), 海阳鑫锐食品设备有限公司; DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海齐欣科学仪器有限公司; KQ3200DB 超声清洗器, 江苏省昆山市淀山湖镇; SKJ-CR002 真空保鲜机, 浙江弩牌电器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 低温真空油炸香菇脆的基本工艺流程

将新鲜香菇清洗沥干, 在 96 ± 2 °C 条件下漂烫 5 min 后, 用 10 °C 冷水浸泡 5 min 进行预冷并自然沥水后备用。后续处理选用两种工艺, 基本流程如下:

工艺 1: 预冷香菇→冷冻→糖渍→沥水→真空油炸→离心脱油→调味→成品

工艺 2: 预冷香菇→糖渍→沥水→冷冻→真空油炸→离心脱油→调味→成品

工艺参数如下:

糖渍: 糖渍过程采用初始固形物含量为 40% 的糖渍液浸渍香菇, 浸渍过程中每隔 2 h 取糖渍液检测固形物含量, 至其降至 28% 时将香菇捞出备用。

冷冻: 将沥干香菇定量装入不锈钢盘后, 冷冻至产品中心温度-10 °C 以下。

真空油炸: 油炸温度 96 °C、油炸时间 100 min、真空度-0.08 MPa。

离心脱油: 转速和时间均为 200 r/min×5 min。

调味: 在香菇脆表面撒上适量食盐。

1.3.2 糖渍处理对香菇脆性质的影响

以 0912 型香菇为原料, 分别选用初始固形物含量均为 40% 的麦芽糖浆、甘蔗汁和混合糖液(麦芽糖浆: 甘蔗汁=1:1, V/V) 三种糖渍液, 按工艺 1 制备低温油炸香菇脆, 分析其理化性质、质构、感官性质、微结构。

表 1 香菇脆感官评分标准

Table 1 The sensory evaluation standard of shiitake mushroom crisps

项目	评价指标	评分标准
外观 (25 分)	光滑饱满, 膨化度好	17~25 分
	较光滑饱满, 膨化度良	8~16 分
	表面粗糙, 膨化度差	0~7 分
色泽 (25 分)	金黄色或淡黄色, 色泽均匀一致	17~25 分
	黄白色, 边缘略有褐色	8~16 分
	色泽暗黄或发黑	0~7 分
香气 (25 分)	油炸食品的脂肪香气和香菇的特征香气完美融合	17~25 分
	略带香气	8~16 分
	无香气甚至带有糊味	0~7 分
口感 (25 分)	软硬适中, 酥脆可口	17~25 分
	略硬或略软, 口感略粗糙	8~16 分
	过硬或过软, 无酥脆感	0~7 分

以 0912 型香菇为原料, 以麦芽糖浆为浸渍液, 在浸渍环节加入低频超声处理 (150 W, 功率显示 100%), 处理时间为 10 min, 按工艺 1 制备低温油炸香菇脆, 分析其理化性质、质构、感官性质、微结构。

1.3.3 香菇品种对香菇脆品质的影响

以 5 种不同品种香菇 (135 型、212 型、庆科 20 型、808 型和 0912 型) 为原料, 采用工艺 1 制备低温油炸香菇脆, 分析其理化性质、质构、感官性质、微结构。

1.3.4 香菇脆的理化性质

水分的测定参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[18]; 总糖含量的测定参考 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》^[19]; 油脂含量的测定参考 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[20]。

1.3.5 香菇脆的质构性质

采用 TA.XT Plus 型质构仪测定香菇脆的质构性质, 测定参数根据潘洪冬等^[21]报道。将香菇脆的菌盖切成直径 40 mm, 厚 16 mm 的圆柱形, 将菌褶朝下放置在样品台上。用 HDP-BSK 探头进行剪切测试, 测试模式为 Return to start 模式, 测前、测后速度为 5 mm/s, 测试速度为 1 mm/s, 剪切比例为 100%, 触发力为 10 g, 数据采集速度为 200 Hz。同一样品重复测定 8 次。

1.3.6 香菇脆的微观结构

采用 Phenom 台式扫描电镜测定香菇脆的微观结构, 测定参数根据潘洪冬等^[21]报道。将香菇脆的菌盖切成 2 mm×2 mm×1 mm 的长方形, 将菌盖中层部位切成薄片, 贴在扫描电镜的样品台上, 喷金后观察。运用 ImageJ1.42.q 软件对扫描电镜图片中的孔隙进行

统计, 计算出平均孔隙当量。

1.3.7 香菇脆的感官评定

由 10 名具有食品专业背景的相关人员作为感官评定人员, 分别从香菇脆的外观、色泽、香气和口感等四个评价项目进行评分, 评分标准见表 1。

1.4 数据处理

实验数据为三次测定平均值, 采用 SPSS 16.0 方差分析 (ANOVA, Duncan) 进行样品平均值间的显著性分析, 不同小写字母表示不同样品之间的显著差异 ($p<0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 真空油炸工艺对香菇脆品质的影响

适宜的加工工艺和香菇品种是改善低温真空油炸香菇脆品质的关键因素。冷冻处理常用于真空油炸工艺前, 使果蔬原料中的自由水和部分结合水结晶, 体积增大, 导致细胞结构破坏, 有利于油炸过程中水分的快速蒸发, 形成组织多孔、体积膨大的高脆度产品^[22]。目前, 果蔬脆片的生产工艺中存在两种主要工艺, 其差别主要在于冷冻处理与浸渍工艺的前后顺序, 即先冷冻后浸渍 (工艺 1), 或者先浸渍后冷冻 (工艺 2)。本文比较这两种工艺条件对整颗油炸香菇脆产品理化性质、微结构和感官品质的影响, 见表 2。

两种工艺香菇脆产品的含水量没有显著差异。工艺 1 香菇脆的油脂含量为 8.75%, 显著高于工艺 2 样品 (5.51%), 其总糖含量呈相反趋势。潘洪冬等^[21]也报道过相似的结果, 即与工艺 2 的冷冻处理相比, 工艺 1 中浸渍环节前的存在一个 -20℃ 冷冻和 5℃ 解冻环节,

这可能由于冷冻/解冻环节增大了香菇基质的组织孔隙(见图 1), 导致在真空油炸过程中油脂渗透性更强。工艺 1 和工艺 2 香菇脆的感官评分没有显著性区别。

表 2 真空油炸工艺对香菇脆理化和感官性质的影响

Table 2 Effects of vacuum frying process on the physicochemical and sensory properties of shiitake mushroom crisps

测试指标	工艺 1	工艺 2
含水量/(g/100 g)	3.70±0.06 ^a	3.80±0.01 ^a
总糖含量/%	72.21±0.42 ^b	78.04±0.72 ^a
油脂含量/%	8.75±0.12 ^a	5.51±0.91 ^b
感官评分/分	92.35±6.57 ^a	94.01±3.66 ^a

注: 同行不同字母表示显著性差异 ($p<0.05$), 下同。

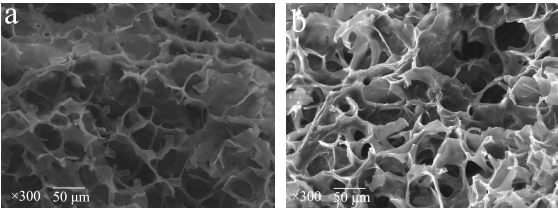


图 1 真空油炸工艺对香菇脆微观结构的影响

Fig.1 Effects of vacuum frying process on the microstructure of shiitake mushroom crisps

质构性质是评价果蔬脆硬度和脆度的重要指标, 香菇脆的各项质构参数见表 3。其中, 最大力 F 与样品的硬度成正相关; 斜率 K 和面积 A 可表征样品在压缩、破裂过程中的脆度, K 越大、 A 越小则脆度越大; 空间破裂数 Nsr 与样品酥性成正相关, $Nsr>5$ 次/mm 时, 样品酥性较大, $Nsr<1$ 次/mm 时, 样品酥性较小

表 4 糖渍处理对香菇脆理化和感官性质的影响

Table 4 Effects of sugaring treatment on the physicochemical and sensory properties of shiitake mushroom crisps

测试指标	麦芽糖浆	甘蔗汁	混合糖液	超声浸渍
含水量/(g/100 g)	3.70±0.06 ^b	4.20±0.12 ^a	4.21±0.01 ^a	3.50±0.12 ^b
总糖含量/%	72.21±0.42 ^a	54.28±0.21 ^c	59.05±0.22 ^b	72.75±0.81 ^b
油脂含量/%	8.75±0.12 ^c	11.13±0.22 ^a	9.54±0.15 ^b	5.50±0.25 ^b
感官评分/分	92.32±6.75 ^a	91.51±6.35 ^a	92.33±7.21 ^a	92.41±5.24 ^a

表 5 糖渍处理对香菇脆质构性质的影响

Table 5 Effects of sugaring treatment on the texture properties of shiitake mushroom crisps

测试指标	麦芽糖浆	甘蔗汁	混合糖液	超声浸渍
F/kg	3.42±0.01 ^a	3.35±0.25 ^a	3.39±0.31 ^a	3.40±0.24 ^a
$K/(kg/mm)$	0.71±0.01 ^a	0.70±0.01 ^a	0.70±0.01 ^a	0.70±0.01 ^a
$A/(kg\cdot mm)$	7.22±0.34 ^a	7.25±0.13 ^a	7.19±0.14 ^a	7.22±0.14 ^a
$Nsr/(次/mm)$	5.83±0.06 ^a	5.71±0.15 ^a	5.79±0.14 ^a	5.96±0.18 ^a

糖渍是一种利用高浓度食糖的渗透性对食品原料进行加工的技术, 可赋予产品特殊风味, 改善产品品质, 常用于果蔬制品的加工^[25]。本研究对比了麦芽糖浆、甘蔗汁及二者的混合糖液对香菇脆理化和感官性

质的影响, 见表 4。与麦芽糖浆糖渍液样品相比, 含有甘蔗汁糖渍液的香菇脆具有独特的甘蔗风味, 三种糖渍液对香菇脆的总体感官评分并无影响。三种香菇脆的含水量、总糖含量和油脂差异明显。麦芽糖浆浸^[23]。真空油炸工艺对香菇脆质构性质的影响见表 3。工艺 1 与工艺 2 香菇脆的质构性质无显著差异。两种工艺的香菇脆的微结构见图 1。香菇脆经低温真空油炸工艺处理后均形成了疏松多孔的结构。低温真空油炸过程中油温与水的沸点差异较小, 导热和膨胀汽化过程均较为缓慢, 因此内部水分逃逸的气泡孔较小, 油脂亦多附着于孔隙表层, 整体组织结构保持较好, 组织骨架固化定型后形成松脆的质地。王文成等^[24]对比了山药常温油炸脆片和真空油炸脆片的微观结构差异, 发现常温油炸脆片组织膨胀呈海绵状结构, 油脂深深附着于孔隙内部; 真空油炸脆片切面平整, 孔隙内部沟痕浅且宽, 与图 4 结果类似。由图 1 所示, 工艺 1 香菇脆的微观结构完整性较差, 空隙当量直径略大于工艺 2 香菇脆, 香菇脆纤维网络的孔壁厚度较薄, 这可能是由于冷冻/解冻过程导致冰晶形成, 造成组织细胞塌陷, 汁液流失, 油炸时内部结构更易受到破坏所致^[21]。

表 3 真空油炸工艺对香菇脆质构性质的影响

Table 3 Effects of vacuum frying process on the texture properties of shiitake mushroom crisps

测试指标	工艺 1	工艺 2
F/kg	3.42±0.01 ^a	3.29±0.14 ^a
$K/(kg/mm)$	0.71±0.01 ^a	0.72±0.02 ^a
$A/(kg\cdot mm)$	7.22±0.34 ^a	7.21±0.22 ^a
$Nsr/(次/mm)$	5.83±0.06 ^a	6.06±0.06 ^a

2.2 糖渍处理对香菇脆性质的影响

渍后的香菇脆含糖量高达 72.21%，而甘蔗汁和混合糖液浸渍后的香菇脆含糖量均低于 60%，这可能与麦芽糖浆和甘蔗汁组成成分的差异性相关。相比于麦芽糖浆而言，甘蔗汁的组成更为复杂，除了大量蔗糖之外，还含有更多的甘蔗多酚类物质。在香菇浸渍过程中，通过判断浸渍液中固形物的含量减小程度（由 40% 减小至 28%），来终止浸渍，从而控制香菇吸入的总固形物质量一致。由于甘蔗汁中多酚等其他物质的存在，导致香菇脆产品的总糖含量显著减小。香菇脆含糖量与含水量、油脂含量均存在一定的负相关性。甘蔗汁和混合糖液浸渍香菇脆的油脂含量分别为 11.13% 和 9.54%，显著高于麦芽糖浆浸渍香菇脆（8.75%）；甘蔗汁和混合糖液浸渍香菇脆的含水量约为 4.20 g/100 g，而麦芽糖浆浸渍香菇脆的含水量仅为 3.70 g/100 g。这可能是由于甘蔗汁和混合糖液香菇脆在低温油炸传质过程中，基质因总糖含量较低而具有较强的持水性和油脂吸附能力，在表面多孔介质的毛细作用和冷凝作用下，更多的油脂被吸入香菇基质，且不易离心脱油，香菇水分不易扩散蒸发。

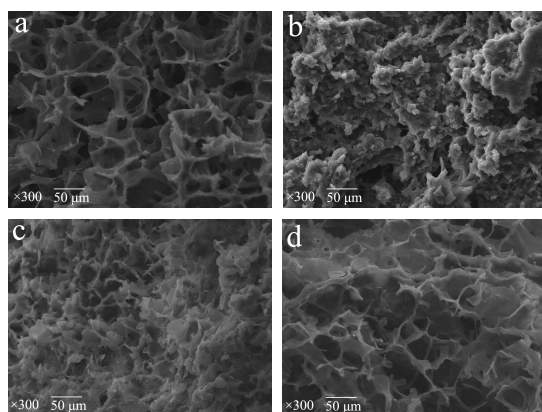


图 2 糖渍处理对香菇脆微观结构的影响

Fig.2 Effects of sugaring treatment on the microstructure of shiitake mushroom crisps

注：a：麦芽糖浆；b：甘蔗汁；c：混合糖液；d：超声浸渍。

香菇脆的微结构见图 2。麦芽糖浆糖渍香菇脆切面平整，可观察到水分子逃逸造成的较为规则的孔隙结构；甘蔗汁糖渍香菇脆切面较为粗糙，孔隙结构不完整，且附着大小不一的颗粒物质，可能是甘蔗汁中存在的除蔗糖之外的其他物质，如多酚物质；混合糖液香菇脆的切面中规则孔隙与不规则孔隙并存。甘蔗汁香菇脆的微观结构形态可能不利于真空油炸中水分的蒸发和脱油过程中油脂的脱除，导致其水分含量和油脂含量高于麦芽糖浆香菇脆。糖渍处理对香菇脆质构性质的影响见表 5。值得注意的是，微观结构的差异性并未导致香菇脆质构性质的不同，三种糖渍液处

理对香菇脆的质构参数并无显著影响。

目前，受限与整颗香菇的体积较大，浸渍环节的时间较长，常温下往往需要>24 h，严重影响生产效率，为了加快浸渍速度，缩短生产周期，本文在麦芽糖浆浸渍处理过程中加入超声处理工艺。超声处理可在液体媒介中产生瞬态空化效应，在空化泡崩溃瞬间产生局部高温高压及强烈的冲击流，瞬间击穿果蔬细胞的细胞膜，加速外界分子浸渍入果蔬组织的速度，缩短浸渍时间，并保持果蔬的组织结构和外形不发生变化^[26]，在桃片的超声渗透^[27]、杏鲍菇脆的超声浸渍^[28]和双孢菇预制菜肴的预处理^[29]中已有应用实例。超声辅助浸渍使麦芽糖浆的浸渍时间明显缩短（<12 h），大幅提高了生产效率。

本研究探究了超声处理对香菇脆理化、感官和质构性质的影响，结果见表 4、表 5 和图 2。超声浸渍香菇脆的含水量略有下降，含糖量保持不变，油脂含量从 8.75% 降至 5.50%，质构特性未见显著变化。超声浸渍香菇脆的扫描电镜图片显示，超声处理使香菇脆的孔隙直径当量变大，说明超声处理造成了香菇脆组织的进一步破坏。Devis 等^[30]探究了超声处理对真空油炸香菇脆片油脂含量和分布的影响，结果表明，与未经超声处理的样品相比，超声处理后香菇脆片的表面油脂含量和结构油脂含量同步下降，油脂总量从 38.8% 降低至 32.4%，油脂分布系数升高，说明超声处理可有效降低油脂含量，更利于离心脱油。

2.3 香菇品种对香菇脆性质的影响



图 3 香菇品种对香菇脆外观形态的影响

Fig.3 Effects of shiitake mushroom cultivars on the appearance of crisps

我国香菇主栽品种亲缘关系较近，但其遗传多样性可导致香菇品质的差异^[31]。不同品种香菇脆成品见图 3，不同品种香菇脆的理化和感官性质见表 6。不同品种新鲜香菇的尺寸差别较大，135 型尺寸较大，212 型和庆科 20 型尺寸适中，808 型和 0912 型尺寸较小。低温真空油炸工艺的脱水作用导致各香菇脆平均直径缩小为初始鲜菇直径的 60%~70%。香菇脆含水量与其尺寸呈正相关。135 型、212 型和庆科 20 型的质地较为松散，在烫漂和油炸过程中碎花部分损失和形变较大，香菇脆产品的外观稳定性较差，感官评分较低。808 型和 0912 型香菇的质地相对坚固，加工过程中品

质较为稳定。0912 型香菇脆产品小而薄，菌盖平滑金黄，外观玲珑，其口感酥脆，感官评分最高。5 种香

菇脆的总糖和油脂含量并无显著差异，说明香菇品种对香菇脆的总糖和油脂含量无影响。

表 6 香菇品种对香菇脆理化和感官性质的影响

Table 6 Effects of shiitake mushroom cultivars on the physicochemical and sensory properties of crisps					
测试指标	135 型	212 型	庆科 20 型	808 型	0912 型
鲜菇平均直径/cm)	9.21±0.32 ^a	7.45±0.21 ^b	7.40±0.33 ^b	3.69±0.11 ^c	3.27±0.52 ^c
香菇脆平均直径/cm)	5.52±0.12 ^a	4.52±0.12 ^b	4.25±0.14 ^c	2.88±0.14 ^d	2.15±0.13 ^e
香菇脆含水量/(g/100 g)	4.19±0.02 ^a	3.98±0.02 ^b	3.88±0.07 ^c	3.69±0.01 ^d	3.70±0.06 ^d
香菇脆总糖含量/%	73.21±0.23 ^c	74.25±0.00 ^b	75.14±0.12 ^a	74.12±0.50 ^b	72.21±0.42 ^d
香菇脆油脂含量/%	8.60±0.20 ^a	8.43±0.31 ^a	8.42±0.22 ^a	8.82±0.23 ^a	8.75±0.12 ^a
香菇脆感官评分/分	88.27±8.96 ^b	89.36±7.58 ^b	89.24±8.21 ^b	90.35±7.21 ^b	92.35±6.75 ^a

表 7 香菇品种对香菇脆质构性质的影响

Table 7 Effects of shiitake mushroom cultivars on the texture properties of crisps					
测试指标	135 型	212 型	庆科 20 型	808 型	0912 型
F/kg	3.12±0.05 ^c	3.16±0.12 ^{bc}	3.24±0.22 ^{abc}	3.40±0.12 ^{ab}	3.42±0.01 ^a
K/(kg/mm)	0.61±0.03 ^a	0.62±0.16 ^a	0.58±0.04 ^a	0.66±0.05 ^a	0.71±0.01 ^a
A/(kg·mm)	11.34±0.02 ^a	11.01±0.25 ^a	10.03±0.62 ^b	7.39±0.19 ^c	7.22±0.34 ^c
Nsr/(次/mm)	5.63±0.41 ^a	5.01±0.33 ^b	5.66±0.06 ^a	6.01±0.34 ^a	5.83±0.06 ^a

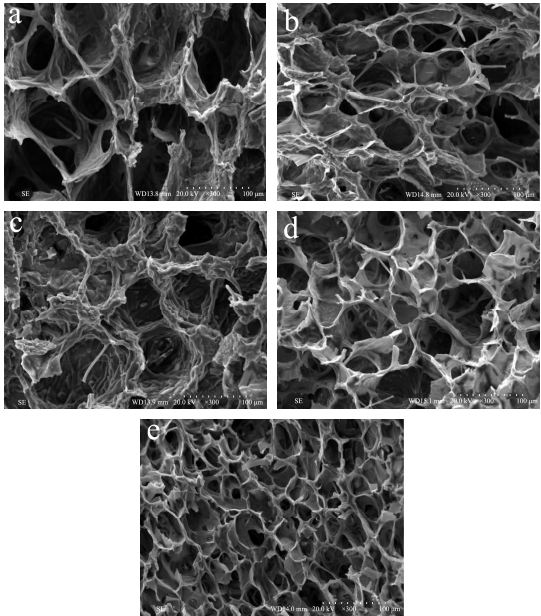


图 4 新鲜香菇原料品种对香菇脆微观结构的影响
Fig.4 Effects of fresh shiitake mushroom cultivars on the microstructure of crisps

注：a：135；b：212；c：庆科 20；d：808；e：0912。

不同品种香菇脆的质构性质见表 7。与大、中型尺寸香菇脆相比，808 型和 0912 型小尺寸香菇脆的硬度和酥性略高，脆度显著提高，这可能是由于小尺寸香菇脆的力学薄点和空间破裂数更多所致。整体而言，0912 型香菇脆的质构性质最佳，与其感官评分的数据一致（表 6）。不同品种香菇脆的微结构见图 4。不同品种间香菇脆产品的微结构存在明显差异。与其他品种相比，0912 型香菇脆的组织结构孔隙直径明显低于

其他样品，这可能与该品种香菇本身尺寸较小及其在冷冻过程中形成的冰晶尺寸有关。综合以上香菇脆的理化和感官性质指标，0912 型最适合用于整颗真空油炸香菇脆的制备，且市场供应充足稳定，适合作为工业化生产原料。

3 结论

不同加工工艺对香菇脆的感官和质构无显著影响，但对其理化性质和微观结构影响显著。先冷冻/解冻后浸渍（工艺 1）的香菇脆具有更高的油脂含量和更低的总糖含量。糖渍液中甘蔗汁的加入会导致香菇脆产品的总糖含量显著下降，油脂含量显著提高，其微观切面较为粗糙，孔隙结构不完整，且附着大小不一的颗粒物质，可能是甘蔗汁中除蔗糖外的其他物质。超声辅助浸渍处理可大幅缩短浸渍时间，提高生产效率，香菇脆产品的油脂含量显著下降至 5.50%。不同品种香菇脆的外形、口感及理化性质、质构性质差异巨大。小尺寸香菇脆的含水量最低，且其感官品质和质构性质均优于大、中尺寸香菇脆。受试 5 个品种中，0912 型香菇脆的理化性质和感官评分最优，更适合用于整颗香菇脆的制备，且市场供应充足稳定，适合作为工业生产原料。

参考文献

[1] DONG Xiaobo, LIU Ying, FENG Xi, et al. Purification and characterization of a cadmium-binding protein from *Lentinula edodes* [J]. Journal of Agricultural and Food

- Chemistry, 2019, 67(4): 1261-1268
- [2] TIAN Yuting, ZHAO Yingting, HUANG Jijun, et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms [J]. Food Chemistry, 2016, 197(Pt A): 714-722
- [3] XU Lei, FANG Xiangjun, WU Weijie, et al. Effects of high-temperature pre-drying on the quality of air-dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) [J]. Food Chemistry, 2019, 285: 406-413
- [4] ZHANG Rongfei, WANG Xiangyou, LI Ling, et al. Optimization of konjac glucomannan/carrageenan/nano-SiO₂ coatings for extending the shelf-life of *Agaricus bisporus* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 122: 857-865
- [5] 韩春然, 闫宝军, 唐均安. 香菇采后贮藏期间褐变的因素研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(11): 1441-1444
HAN Chunran, YAN Baojun, TANG Junan. Study on the Browning of Postharvest Mushroom[J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(11): 1441-1444
- [6] 孟令伟, 张芳, 胡亚光. 储藏温度及保鲜包装薄膜对香菇品质的影响[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 31-35
MENG Lingwei, ZHANG Fang, HU Yaguang, et al. Effects of storage temperature and packaging films on the quality of shiitake mushroom [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 31-35
- [7] LEI Jing, LI Bianjun, ZHANG Na, et al. Effects of UV-C treatment on browning and the expression of polyphenol oxidase (PPO) genes in different tissues of *Agaricus bisporus* during cold storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 139: 99-105
- [8] LIN Qiong, LU Yuanyuan, ZHANG Jie, et al. Effects of high CO₂ in package treatment on flavor, quality and antioxidant activity of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 123: 112-118
- [9] Akata I, Torlak E, Erci F. Efficacy of gaseous ozone for reducing microflora and foodborne pathogens on button mushroom [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 109: 40-44
- [10] Cedermark G, Selenius M, Tullus K. Glycaemic effect and satiating capacity of potato chips and milk chocolate bar as snacks in teenagers with diabetes [J]. Eur J Pediatr, 1993, 152(8): 635-639
- [11] Devi S, Zhang Min, Law C L, et al. Effect of ultrasound and microwave assisted vacuum frying on mushroom (*Agaricus bisporus*) chips quality [J]. Food Bioscience, 2018, 241: 51-59
- [12] SU Ya, ZHANG Min, Chitrakar B, et al. Reduction of oil uptake with osmotic dehydration and coating pre-treatment in microwave-assisted vacuum fried potato chips [J]. Food Bioscience, 2021, 39: 100825
- [13] Faruq A A, Zhang Min, Adhikari B. A novel vacuum frying technology of apple slices combined with ultrasound and microwave [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 52: 522-529
- [14] E Troncoso, F Pedreschi, R N Zúñiga. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying [J]. LWT - Food Science and Technology, 2008, 42(1): 188-191
- [15] Tanushree Maity, P S Raju, A S Bawa. Effect of freezing on textural kinetics in snacks during frying [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(1): 160-165
- [16] DENG Kaibo, CHEN Jiyuan, TIAN Yuting, et al. Optimization of process variables on physical and sensory attributes of shiitake (*Lentinula edodes*) slices during vacuum frying [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 54: 162-171
- [17] Safari A, Salamat R, Baik O D. A review on heat and mass transfer coefficients during deep-fat frying: determination methods and influencing factors [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 230: 114-123
- [18] GB 5009.3-2016, 《食品安全国家标准 食品中水分的测定》[S]
- [19] GB/T 15672-2009, 《食用菌中总糖含量的测定》[S]
- [20] GB 5009.6-2016 《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》[S]
- [21] 潘洪冬, 李江涛, 谢静, 等. 冻结条件对酥脆香菇品质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(3): 259-264
PAN Hongdong, LI Jiangtao, XIE Jing, et al. Effect of freezing conditions on the quality of crispy *Lentinus edodes* [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(3): 259-264
- [22] 陈集元. 真空油炸香菇脆加工工艺的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016
CHEN Jiyuan. Study on vacuum fried processing technology of *Lentinus edodes* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016
- [23] 谢静, 赵阿丹, 熊善柏, 等. 干燥方式对酥脆香菇品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 87-91
XIE Jing, ZHAO Adan, XIONG Shanbo, et al. Effect of

- drying methods on the quality of crispy mushroom [J]. Food Science, 2012, 33(13): 87-91
- [24] 王文成,高惠安,郑守斌,等.低温真空油炸山药脆的工艺研究[J].食品研究与开发,2021,42(4):101-106
- WANG Wencheng, GAO Huian, ZHENG Shoubin, et al. Study on low temperature vacuum frying of yam chips [J]. Food Research and Development, 2021, 42(4): 101-106
- [25] 徐乾达,陈琳,何强,等.糖渍处理对玫瑰花醇提取物自由基清除活性的影响[J].包装工程,2020,41(11):17-23
- XU Qianda, CHEN Lin, HE Qiang, et al. Effects of sugaring process on the free radical scavenging activity of rose extract [J]. Packaging Engineering, 2020, 41(11): 17-23
- [26] 刘莹萍.富益生菌胡萝卜脆的制备及其贮藏稳定性研究[D].扬州:扬州大学,2016
- LIU Yingping. Preparation and storage stability of probiotics enriched carrot slices [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2016
- [27] 张鹏飞,吕健,周林燕,等.桃片超声渗透-红外辐射干燥特性及能耗研究[J].现代食品科技,2015,31(11):234-241
- ZHANG Pengfei, LYU Jian, ZHOU Linyan, et al. Drying characteristics and energy consumption of peach slices during ultrasound-assisted osmotic dehydration in combination with infrared radiation [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(11): 234-241
- [28] 李茜,高纯阳,安欣欣,等.杏鲍菇脆加工中超声浸渍工艺的优化[J].食品工业科技,2014,35(14):287-292
- LI Qian, GAO Chunyang, AN Xinxin, et al. Optimization of ultrasonic immersion technology for *Pleurotus eryngii* chips [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(14): 287-292
- [29] 陶天艺,裴斐,方东路,等.低温漂烫联合超声浸渍预处理对预制菜肴中双孢蘑菇品质的影响[J].食品工业科技,2021,42(10):130-137
- TAO Tianyi, PEI Fei, FANG Donglu, et al. Effects of low temperature blanching with ultrasonic dipping pretreatment on the quality of *Agaricus bisporus* in ready-to-eat dishes [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 130-137
- [30] Devi S, ZHANG Min, JU Ronghua, et al. Water loss and partitioning of the oil fraction of mushroom chips using ultrasound-assisted vacuum frying [J]. Food Bioscience, 2020, 38: 100753
- [31] 董慧,章炉军,张美彦,等.中国香菇主栽品种遗传多样性的 SSR 分析及指纹图谱构建[J].微生物学通报,2017,44(6): 1427-1436
- DONG Hui, ZHANG Lujun, ZHANG Meiyan, et al. Genetic diversity and fingerprint profiles of Chinese major *Lentinula edodes* cultivars based on SSR markers [J]. Microbiology China, 2017, 44(6): 1427-1436

(上接第 144 页)

- [25] 杨旭,钱怡.壳聚糖基抗菌复合膜的制备与性能[J].包装工程,2017,38(9):102-106
- YANG Xu, QIAN Yi. The preparation and performance of Chitosan-based antibacterial composite film [J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 102-106
- [26] 吴清凌,聂凤鸣.纳米二氧化钛改性壳聚糖膜的制备及性能初探[J].中国纤检,2013,1(32):126-128
- WU Qingling, NIE Fen-ming. Preparation and properties of nano-TiO₂ modified chitosan membrane [J]. China National Fiber Inspection, 2013, 1(32): 126-128
- [27] Miller K, Silcher C, Lindner M, et al. Effects of glycerol and sorbitol on optical, mechanical, and gas barrier properties of potato peel based films [J]. Packaging Technology and Science, 2020, 133(5): 1-13
- [28] Dong Y M, Wang M, Wu Y S. FT-IR Spectroscopic determinations of chitosan derivatives [J]. Journal of Cellulose Science and Technology, 2001, 9(2): 42-56
- [29] Lim S H, Hudson S M. Synthesis and antimicrobial activity of a water-soluble chitosan derivative with a fiber-reactive group [J]. Carbohydrate Research, 2004, 339(3): 313-319
- [30] Guines L S, Cavalheiro E T G. The use of DSC cures to determine the acetylation degree of chitin/chitosan samples [J]. Thermochemica Acta, 2006, 444(21): 128-133
- [31] 张利,李普旺,杨子明,等.高性能改性聚乙烯醇薄膜的制备及性能表征[J].功能材料,2020,51(4):4153-4159
- ZHANG Li, LI Puwang, YANG Ziming, et al. Preparation and characterization of high performance modified polyvinyl alcohol films [J]. Journal of Functional Materials, 2020, 51(4): 4153-4159