

冻结条件对酥脆香菇品质的影响

潘洪冬, 李江涛, 谢静, 程明, 贾丹, 赵思明

(华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 以鲜香菇为原料, 经烫漂、浸渍、冻结和真空油炸等工序制得酥脆香菇。采用冻结及解冻曲线、色度仪、质构仪和扫描电镜等技术研究酥脆香菇的色彩、力学特征和组织结构, 冻结和真空油炸过程香菇质构和微观形貌的变化, 探索香菇酥脆质地的形成机理。结果表明, 烫漂、浸渍、冷冻和真空油炸可显著改变香菇的质地和组织结构。慢速冻结有利于香菇内部水分形成大冰晶, 改善酥脆香菇的色彩特征。适宜的油炸条件可使香菇天然的粗大纤维束组织结构瓦解, 产生较大尺寸的孔洞, 从而使真空油炸时水分迅速逸出, 组织骨架固化定形, 最终形成酥松脆弱的质地特征。经-20℃冷冻后真空油炸所得产品的含油量和含水量低, 酥脆性佳, 并呈现出较明亮、偏带红黄色调的色彩特征。

关键词: 冻结; 真空油炸; 香菇; 酥脆; 质地

文章编号: 1673-9078(2016)3-259-264

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.041

Effect of Freezing Conditions on the Quality of Crispy *Lentinus edodes*

PAN Hong-dong, LI Jiang-tao, XIE Jing, CHENG Ming, JIA Dan, ZHAO Si-ming

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Crispy *Lentinus edodes* was prepared by blanching, immersing, freezing, and vacuum frying. Color, mechanical characteristics, tissue structure, and changes in the texture and microstructure of *L. edodes* during freezing and vacuum frying were examined by obtaining a freezing-thawing curve and by using colorimeter, texture analyzer, scanning electron microscope, and other techniques to determine mechanisms underlying the formation of the crispy texture. Results showed that blanching, immersing, freezing, and vacuum frying significantly affected the texture and tissue structure of *L. edodes*. Slow freezing favored the formation of large ice crystals from water present inside fresh *L. edodes*, thus improving the color quality of crispy *L. edodes*. Appropriate frying disintegrated the natural, thick fiber bundles of *L. edodes* to produce large pores that allowed moisture to escape during vacuum frying, fixed and shaped the tissue framework of the mushroom, and aided in the development of the crispy texture. Moreover, *L. edodes* products prepared by freezing at -20℃ and vacuum frying had low oil and moisture contents, good crispness, and a bright, reddish, and yellowish color.

Key words: freezing; vacuum frying; *Lentinus edodes*; crispness; texture

香菇 (*Lentinus edodes* (Berk.) sing) 别名香蕈、花菇, 是一种常见的栽培真菌。香菇营养丰富, 自身的保健功能和药用价值使其享有“菇中皇后”的美誉^[1]。由于香菇食药皆佳的品质, 香菇及其制品的需求量持续上升, 经济价值逐渐凸显, 但我国香菇产品的开发却相对滞后, 目前多以初级产品鲜食或干菇为主, 深加工产品少, 造成产品附加值低, 制约了香菇产业的持续发展。

近年来即食休闲食品的兴起掀起了果蔬脆片的热潮, 促进了果蔬深加工的发展, 果蔬脆片加工技术成为研究热点, 真空油炸是目前应用最多、最成熟的生产果蔬脆片的重要方法。油炸马铃薯片是最常见的

果蔬休闲食品^[2], 也有不少研究报道利用真空油炸开发低脂肪、低热量的香蕉脆片^[3]、平菇脆片^[4]、香芋片^[5]等果蔬脆片具有口感酥脆、色泽自然、含油量低的特点。香菇经真空油炸可得到低脂、高营养价值的酥脆休闲食品。将真空油炸技术应用于香菇脆片的生产对丰富香菇制品有积极意义。

真空油炸可减少营养物质损失及有害物质生成, 较大程度保持其外观、色泽和滋味, 是制作高营养价值的酥脆休闲食品的技术^[6]。适宜的烫漂处理可钝化酶活, 降低油炸食品含水量, 有利于改善产品的酥脆度^[7]。油炸前冷冻处理使原料中的水分冻结, 经真空油炸后产品具有疏松的结构和酥脆的口感, 适宜的冷冻处理可使产品获得良好品质^[8], 但是, 酥脆质地的形成机理还有待深入研究。本文以鲜香菇为原料, 研究冷冻过程及其对真空油炸香菇品质的影响, 探索香菇酥脆质地的形成机理, 为进一步完善酥脆香菇工艺

收稿日期: 2015-03-05

作者简介: 潘洪冬 (1989-), 女, 硕士研究生, 主要从事食品工艺研究

通讯作者: 赵思明 (1963-), 女, 博士, 教授, 主要从事食品大分子结构及功能特性研究

的研究和真空油炸工艺条件的优化提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

908 品种新鲜香菇, 菌伞直径为 (4.5 ± 0.5) cm、厚度为 (1.0 ± 0.3) cm, 菌柄直径为 (0.8 ± 0.3) cm, 购自白沙洲农副产品大市场。主要成分水分含量为 $(80.2 \pm 2.5)\%$ ^[9], 脂肪含量为 $(0.5 \pm 0.1)\%$ ^[10], 蛋白质含量为 $(2.4 \pm 0.3)\%$ ^[11], 膳食纤维含量为 $(3.5 \pm 0.5)\%$ ^[12], 均按照国标检测。

麦芽糖, 郑州坚久实业有限公司; 24 °C 棕榈油, 中粮北海粮油工业有限公司; 食盐, 湖北盐业集团有限公司。

1.2 仪器与设备

VF-2 型真空油炸机, 烟台海瑞食品设备有限公司; TA-XT2i 型质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; JSM-6390 型扫描电子显微镜, 日本 NTC 公司; Ultra Scan XE 型色度仪 美国 Hunter Lab 公司; FD-1A-50 冷冻干燥机, 北京博医康实验仪器有限公司; JNDA 82II 点温计, 浙江乐清市精达仪表厂。

1.3 方法

1.3.1 酥脆香菇的工艺流程

新鲜香菇→清洗→烫漂→浸渍→冷冻→真空油炸→包装→成品

工艺说明: 研究冻结时对香菇品质影响时, 将新鲜香菇于 2% 食盐水中沸水烫漂 5 min, 在 20% 麦芽糖液中常压浸渍 3 h, 再进行冷冻后真空油炸。不同的冻结处理: 空白组为不冷冻, 处理-1 为 -20 °C 冷冻; 处理-2 为 -20 °C 冷冻/5 °C 解冻; 处理-3 为 -80 °C 冷冻; 处理-4 为 -80 °C 冷冻/5 °C 解冻。真空油炸温度为 90 °C, 时间为 60 min, 真空度为 0.096 MPa, 脱油转速为 260 r/min, 脱油时间为 3 min。解冻条件: 暴露于 5 °C 空

气中解冻 1.5 h。

1.3.2 冷冻和解冻曲线的测定

将香菇置于开口的正方体泡沫盒中, 泡沫盒置于不同温度的冰箱中, 将点温计探头分别插入香菇中心和菌盖表面 2 mm 的位置, 记录冷冻过程的温度变化。当香菇的温度下降至冰箱设定温度后, 将泡沫盒转至 5 °C 解冻, 并记录解冻过程的温度变化。

1.3.3 脂肪含量和水分含量的测定

水分含量按照国标进行, 105 °C 常压干燥法测定^[9]。脂肪含量按照国标进行, 索氏抽提法测定^[10]。

1.3.4 色度的测定

用色度仪测定香菇菌盖表面的色度, 用 CIELAB 表色系 (L^* 、 a^* 、 b^*) 表示。 L^* 为香菇的明度, a^* 为红绿度, b^* 为黄蓝度。

1.3.5 质构的测定

将真空油炸脱油后的香菇菌盖切成直径 40 mm, 厚度 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; 测前、测后速度: 5 mm/s; 测试速度: 1 mm/s; 剪切比例: 100%; 触发力: 10 g; 数据采集速度: 200 pps, 同一样品重复测定 8 次。酥脆香菇的力-距离曲线如图 1 所示。

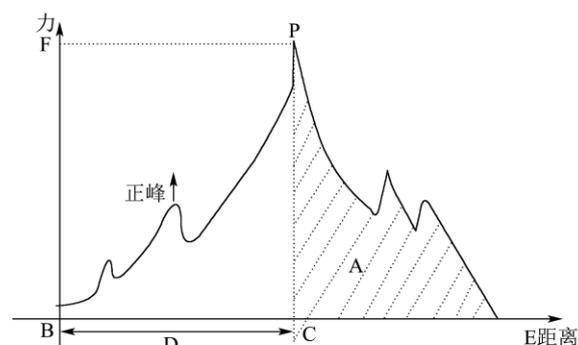


图 1 酥脆香菇的力-距离曲线示意图

Fig.1 Schematic representation of the force-distance curve of crispy *L. edodes*

表 1 力-距离曲线中的特征参数

Table 1 Characteristic parameters of the force-distance curve

特征参数	定义
最大力 F	探头下压过程中受到的最大力, 即图 1 中最高点 P 对应的力 F
距离 D	图 1 中 BC 的长度。点 C 为过 P 点的垂线与横轴的交点
斜率 K	图 1 中点起点 B 与顶点 P 两点的斜率。K 的数值为 F/BC
面积 A	图 1 中右半面积 A, 表征食品的脆性 ^[13]
正峰数 N_0	曲线上 O 点和 P 点两点之间正峰 (凸峰) 的总数
空间破裂次数 N_{sr}	正峰数 N_0 与距离 D 之比 ^[14]

1.3.6 微观结构的观察

分别将新鲜、烫漂、浸渍和冷冻香菇以及经未冷冻、不同冷冻/解冻处理得到的真空油炸香菇按照 2 mm×2 mm×1 mm 的规格,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 数据处理

应用 Microsoft Excel 和 SAS9.0 进行数据处理分析。一般实验指标平行测定 3 次,质构数据平行测定 8 次。

2 结果与分析

2.1 香菇的冷冻和解冻曲线

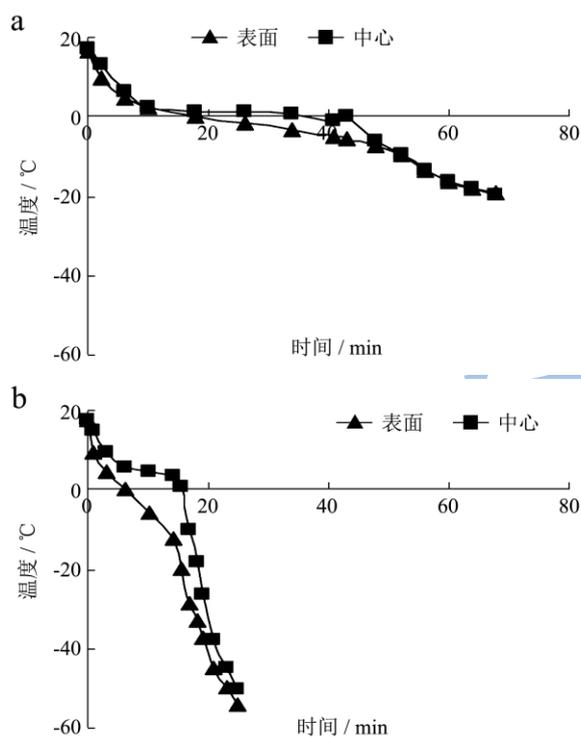


图2 香菇的冷冻曲线

Fig2 Freezing curve of immersed *L. edodes*

从图 2a 可知,在-20℃下冷冻时,香菇的中心温度下降到-10℃需要 50 min,跨过最大冰晶形成带需要的时间为 23 min,在较长的时间内香菇内部冰晶的生长作用大于晶体成核作用,可形成一定量的大冰晶。在图 2b 中,-80℃下冷冻时,能够在较短的时间(16 min)内将中心温度降到-10℃以下,并在 2 min 内快速通过最大冰晶生成带,此时冰晶的成核作用大于晶体生长作用,有利于形成数量多、体积小冰晶。

从图 3a 可知,香菇在-20℃冷冻后 5℃解冻时,前期温度上升快,后期上升速率变慢,其表面温度在 0℃~5℃间较中心温度上升快。香菇在-80℃冷冻后

5℃解冻时,所需解冻时间较前者解冻时间短 20 min,解冻过程中香菇表面温度与中心温度的差较小。这是由于-80℃冷冻形成的冰晶体积小、数量多、分布均匀,解冻过程的热量传递滞后性小。

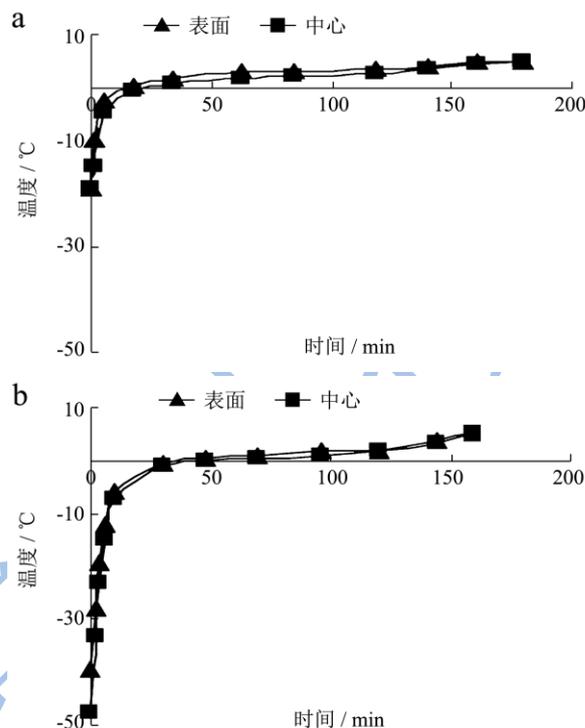


图3 香菇的解冻曲线

Fig3 Thawing curve of immersed *L. edodes*

2.2 冻结对酥脆香菇品质的影响

2.2.1 冻结对酥脆香菇脂肪含量及水分含量的影响

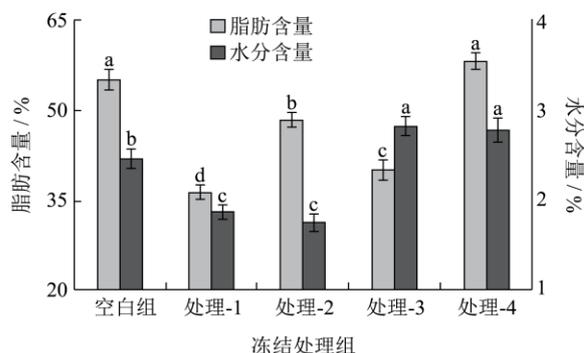


图4 冻结处理对酥脆香菇脂肪和水分含量的影响

Fig4 Effect of freezing on fat and moisture content in crispy *L. edodes*

注:不同小写字母表示比较项存在显著差异(p < 0.05)。真空油炸时间均为 60 min。

从图4可知冻结可显著影响酥脆香菇的脂肪含量和水分含量。与空白组相比,经处理-1、处理-2、处理-3所得酥脆香菇的脂肪含量均有显著下降,而处理

-4无显著差异。经-20℃冷冻的香菇脂肪含量最低，冷冻后再解冻会使脂肪含量增加。-20℃冻结的酥脆香菇水分含量低于-80℃冻结的，解冻对于含水量的影响不大。脂肪、水分含量与孔径及其水油的渗透作用相关。速冻使香菇形成空隙较小（见图6），香菇内水油脱除效果较差，水分和脂肪含量相对较高。真空油炸60 min后，缓慢冻结（-20℃）产品的水分含量会显著性低于于速冻（-80℃）的产品，这是由于香菇在缓慢冻结时有足够的时间形成大冰晶，造成香菇内部空隙较大，水分挥发的阻力减小，脱水效果优于速冻组。

2.2.2 冻结对酥脆香菇色度的影响

表2为冷冻和解冻对真空油炸香菇色度的影响。 L^* 值越大，香菇的色泽越亮， a^* 值越大表明香菇颜色越偏红， b^* 值越大香菇则越偏黄色。从表2可以看出

表3 冻结对酥脆香菇质构的影响 (n=8, $\bar{x} \pm std$)

Table 3 Effect of freezing on the texture of crispy *L. edodes*

处理方式	F/kg	K/(kg/mm)	A/(kg mm)	N_{sr} /(次/mm)
空白	2.85±0.67 ^b	0.51±0.04 ^b	13.06±1.05 ^a	4.63±0.47 ^{bc}
-20℃	处理-1	3.72±0.23 ^a	0.78±0.07 ^a	5.02±1.35 ^c
	处理-2	3.10±0.40 ^{ab}	0.60±0.03 ^{ab}	11.50±1.75 ^{ab}
-80℃	处理-3	3.47±0.97 ^{ab}	0.66±0.02 ^{ab}	6.35±2.40 ^{bc}
	处理-4	3.20±0.41 ^{ab}	0.59±0.05 ^{ab}	10.16±2.33 ^{ab}

注：不同小写字母表示比较项存在显著差异 ($p < 0.05$)。以上处理的真空油炸时间均为60 min。

最大力F用于表征食品的硬度，F越大，硬度越大。斜率K和面积A可表征食品在压缩、破断过程中的脆度，K越大、A越小脆度越大。以空间破裂数(N_{sr})表征食品的感官酥性，当 $N_{sr} > 5$ 次/mm时，食品的酥性较大，当 $N_{sr} < 1$ 次/mm时，食品的酥性较小。整体酥脆性还与 N_{sr} 呈显著正相关，香菇的力学薄点越多，空间破裂数越大^[13]。

经冷冻处理后制得的酥脆香菇的最大力 F_m 、斜率K、面积A和空间破断数 N_{sr} 与空白组相比有显著差异。-20℃冷冻的酥脆香菇较-80℃冷冻的硬度大，酥性好，脆度大。这是因为冻结速度慢，可生成块状的大冰晶，脱水留下疏松的孔洞，产品具有酥脆性的口感。不解冻油炸香菇与解冻的相比， F_m 、K、 N_{sr} 值更大，其硬度更大，酥脆度更好。

2.2.4 冻结对酥脆香菇微观结构的影响

不同冷冻处理酥脆香菇的微观结构和孔隙当量直径如图5和图6所示。新鲜香菇菌的孔隙当量最小(图5a)，真空油炸后香菇纤维结构被破坏，形成疏松多孔的结构。经-20℃冷冻的酥脆香菇(图5c、5d)孔隙当量直径大于-80℃冷冻的(图5e、5f)，而且解冻后(图5d)的空隙最大。原因是冻结速度较慢，冰晶体

冷冻和解冻处理对 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值均有显著影响。以-20℃冷冻后再解冻的产品(处理-2) L^* 值、 a^* 值、 b^* 值最大，呈现出较明亮、偏带红黄色调的色彩特征。

表2 冻结对酥脆香菇色度的影响 (n=3, $\bar{x} \pm std$)

Table 2 Effect of freezing on the color of crispy *L. edodes*

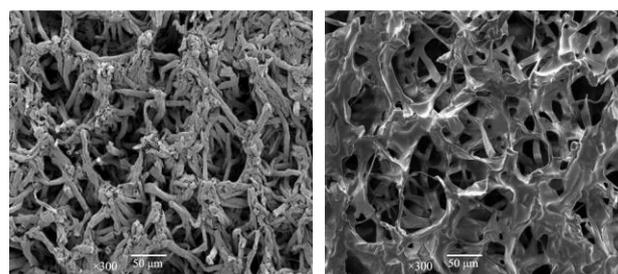
处理编号	L^*	a^*	b^*
空白	24.10±1.54 ^d	7.37±1.37 ^b	14.10±1.64 ^{bc}
处理-1	25.07±1.54 ^{cd}	3.75±1.31 ^c	11.54±1.96 ^c
处理-2	29.95±1.66 ^a	8.91±1.22 ^a	17.06±2.58 ^a
处理-3	26.00±1.75 ^{bc}	6.14±1.15 ^b	14.32±3.39 ^b
处理-4	28.35±2.62 ^b	5.99±1.61 ^b	15.50±4.05 ^{ab}

注：不同小写字母表示比较项存在显著差异 ($p < 0.05$)。

真空油炸时间均为60 min。

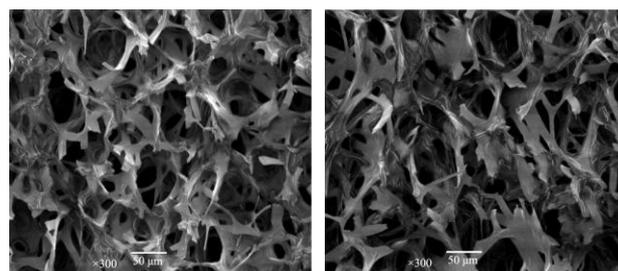
2.2.3 冻结对酥脆香菇质构的影响

积较大。经解冻的酥脆香菇(图5d、5f)当量直径均稍大于未经解冻的(图5c、5e)，这是由于解冻导致汁液流失，组织细胞软塌，油炸时内部结构更易受到破坏造成的。



(a) 鲜香菇

(b) 空白组



(c) 处理-1

(d) 处理-2

20℃

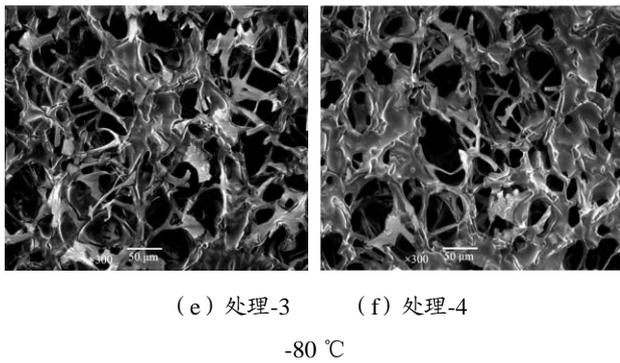


图5 不同冷冻处理酥脆香菇的微观结构

Fig.5 Microstructure of vacuum-fried *L. edodes* prepared after different freezing treatments

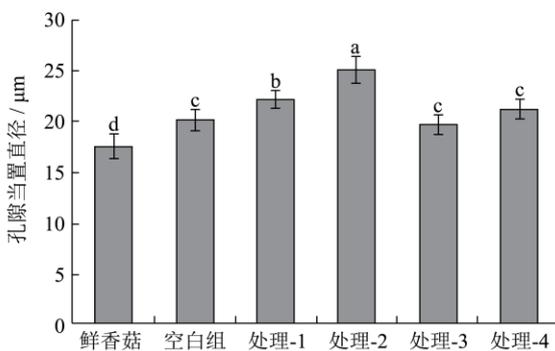


图6 不同冷冻处理酥脆香菇的孔隙当量直径

Fig.6 Pore size of crispy *L. edodes* after different freezing treatments

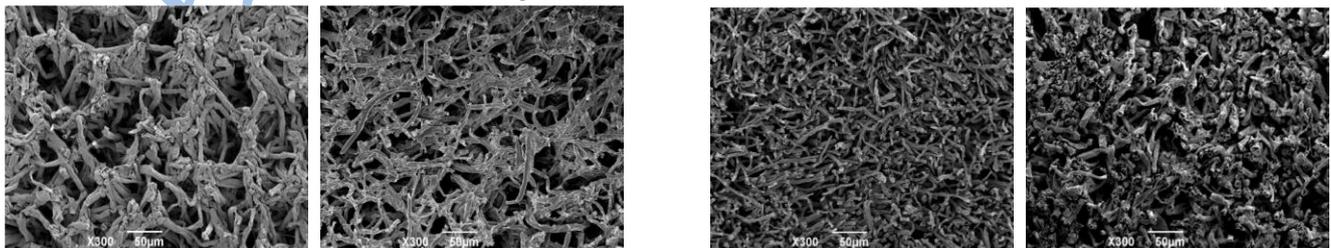
注：空白为不冷冻真空油炸，处理-1为-20 °C冷冻后真空

表4 真空油炸过程香菇的质构

Table 4 Changes in the texture of *L. edodes* during vacuum frying

真空油炸时间/min	F/kg	K/(kg/mm)	A/(kg mm)	N _{sr} /(次/mm)
0	5.50±0.11 ^{bc}	0.55±0.02 ^b	15.00±0.01 ^c	0.00±0.00 ^e
10	5.85±0.15 ^{bc}	0.57±0.07 ^b	12.50±0.09 ^c	0.11±0.00 ^d
20	10.24±0.33 ^a	0.77±0.41 ^a	32.64±0.42 ^a	0.14±0.02 ^d
30	4.78±0.08 ^c	0.59±0.12 ^b	27.12±0.31 ^{ab}	4.05±0.27 ^c
40	4.22±0.35 ^{cd}	0.43±0.28 ^{ab}	29.22±0.17 ^{ab}	5.95±0.49 ^{bc}
50	3.91±0.09 ^{cd}	0.38±0.30 ^c	12.67±0.16 ^c	7.08±0.43 ^b
60	3.66±0.10 ^{cd}	0.30±0.04 ^c	13.83±0.18 ^c	9.54±0.38 ^a

注：不同小写字母表示比较项存在显著差异 ($p < 0.05$)。冻结条件为-20 °C冷冻后不解冻。



(a)新鲜香菇

(b)烫漂香菇

(c)浸渍香菇

(d)冻结香菇

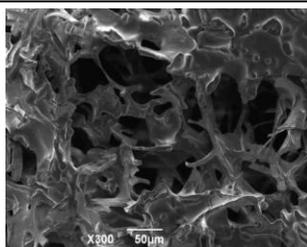
油炸；处理-2为-20 °C冷冻/5 °C解冻后真空油炸；处理-3为-80 °C冷冻后真空油炸；处理-4为-80 °C冷冻/5 °C解冻后真空油炸。不同字母表示比较项存在显著差异 ($p < 0.05$)。

2.3 真空油炸对香菇质构的影响

真空油炸过程中香菇质构的变化如表4所示。F、K和A均呈现出先上升后下降的趋势，当油炸时间为20 min时，香菇的强度最大。油炸时间小于20 min时N_{sr}变化不大，当油炸时间达到30 min后，随着油炸时间的延长不断增大，在油炸时间为60 min时N_{sr}达到9.54次/mm，K值(3.66 kg/mm)和F值较小，表现出酥松、脆弱的力学特征。真空油炸中香菇的质地经历了从柔软，到硬度和韧性增大，最后到硬度和韧性降低，酥脆性迅速增大的过程。

2.4 加工过程中香菇微观结构的演变

加工过程中香菇微观形貌的变化见图7。从图7可以看出，新鲜香菇纤维束较粗，且缠绕在一起，空洞较大，形成松软多汁的组织结构。烫漂、浸渍使香菇的纤维束状结构变得致密，冷冻使纤维束粗大，空隙增大。真空油炸过程由于水分的快速蒸发，产生一定的膨胀力，造成香菇纤维素等高分子的降解，纤维束状结构瓦解，形成片层多孔的结构，导致香菇酥脆的质地。



(e)真空油炸

图7 加工过程中香菇微观结构的演变(菌盖)

Fig.7 Changes in the microstructure of *L. edodes* (pileus) during vacuum frying

注: 将新鲜香菇于2%食盐水中沸水烫漂5 min后, 在20%麦芽糖液中常压浸渍3 h, 再于-20 °C冷冻12 h后真空油炸60 min。

3 结论

3.1 冻结和真空油炸条件影响香菇酥脆品质的形成。慢速冻结有利于香菇内部细胞间隙聚集数量少而体积大的冰晶, 产生较大尺寸的孔洞。适宜的冷冻条件可以降低香菇的脂肪含量和水分含量, 使香菇酥脆度和强度增大, 促进产品形成少油品质和酥脆质地。

3.2 随着真空油炸时间延长, 香菇的硬度先增后降, 酥脆度变大, 适宜的油炸条件可使粗大的纤维束组织结构瓦解, 迅速脱除水分, 形成片层多孔的疏松结构, 固化香菇骨架, 使香菇具有良好的酥松脆弱口感。

3.3 将新鲜香菇于-20 °C冷冻后真空油炸 60 min, 含油率和含水量最低, 产品酥脆性最佳。

参考文献

- [1] 奚灏镛,袁根良,杜冰,等.超高压提取香菇多糖的研究[J].现代食品科技,2010,26(9):991-992
XI Hao-qiang, YUAN Gen-liang, DU Bing, et al. Ultra high pressure extraction of lentinan from *Lentinus edodes* [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(9): 991- 992
- [2] 何秀丽,谭兴和,熊兴耀,等.我国马铃薯休闲食品的发展现状及前景分析[J].现代食品科技, 2005,85(3):169-171
HE Xiu-li, TAN Xing-he, XIONG Xing-yao, et al. Recent development situation and prospect of potato foods in China [J]. Modern Food Science and Technology, 2005, 85(3): 169-171
- [3] 张岩,吴继军,唐道邦,等.香蕉片的真空油炸工艺及质构品质初探[J].现代食品科技,2010,26(9):987-990
ZHANG Yan, TANG Ji-jun, TANG Dao-bang, et al. Effects of processing conditions on the quality and texture of the vacuum-fried banana chips [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(9): 987-990
- [4] 杜海珍.平菇脆片加工工艺研究[J].现代食品科技, 2010, 26(6): 630-631
DU Hai-zhen. Processing Technology of *Pleurotus ostreatus* crisps [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(6): 630-631
- [5] 颜未来,吴卫国,李超.不同工艺对油炸香芋片的品质特性研究[J].现代食品科技,2013,29(5):1006-1008
YAN Wei-lai, WU Wei-guo, LI Chao. Effect of processing methods on sensory quality of fried taro chip [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(5): 1006-1008
- [6] Alexander Warning, Ashish Dhall, Diana Mitrea, et al. Porous media based model for deep-fat vacuum frying potato chips [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110 (3): 428- 430
- [7] 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
- [8] 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
- [9] GB 5009.3-2010,食品中水分的测定[S]
GB 5009.3-2010, Determination of moisture in foods [S]
- [10] GB/T 14772-2008,食品中粗脂肪的测定[S]
GB/T 14772-2008, Determination of crude fat in foods [S]
- [11] GB 5009.5-2010,食品中蛋白质的测定[S]
GB 5009.5-2010, Determination of protein in foods [S]
- [12] GB/T 5009.88-2008,食品中膳食纤维的测定[S]
GB/T 5009.88-2008, Determination of dietary fiber in foods [S]
- [13] 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 A-dan, XIONG Shan-bai, et al. Effect of drying methods on the quality of crispy *Lentinus edodes* [J]. Food Science, 2012, 33(13): 87-91
- [14] Rohde F, Normand M D, Peleg M. Characterization of the power spectrum of force deformation relationships of crunchy [J]. Journal of Texture Studies, 1993, 24: 45-62