

油炸真空度对豆泡品质及表面微观结构的影响

李良¹, 周艳¹, 刘军², 李顺秀², 娄彬彬², 吴长玲¹, 田甜¹, 王中江¹, 李杨¹, 江连洲¹

(1. 东北农业大学食品学院, 黑龙江哈尔滨 150030) (2. 山东禹王生态食业有限公司, 山东禹城 251200)

摘要: 本试验主要研究低温真空油炸制作豆腐泡过程中, 不同真空度对油炸豆腐泡品质、蛋白结构和表面微观结构的影响。以持水性、脂肪分数、色泽、蛋白结构及微观结构为指标, 反映低温真空油炸工艺参数真空度对豆腐泡品质及微观结构的影响。研究表明: 随真空度增加, 豆腐泡脂肪分数逐渐增加, 而持水性的变化趋势与脂肪分数是相反的; 表面色泽变化表现为 L* 值下降, b* 值和 a* 值增加; 蛋白质二级结构表现为 α 结构含量呈现减低趋势, 而 β -折叠结构含量先提升后降低, 但无规卷曲结构含量变化较小; 豆腐泡微观结构变化表现为表面形成褶皱减少, 粗糙度降低。本文解析了真空度条件下豆腐泡品质和表面微观结构的变化, 为低温真空油炸技术应用于豆制品产业化提供理论依据。

关键词: 豆腐泡; 真空度; 品质; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2018)09-51-56

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.9.009

Effect of Fry Vacuum on the Quality and Surface Microstructure of Tofu Puffs

LI Liang¹, ZHOU Yan¹, LIU Jun², LI Shun-xiu², LOU Bin-bin², WU Chang-ling¹, TIAN Tian¹,
WANG Zhong-jiang¹, LI Yang¹, JIANG Lian-zhou¹

(1. Food College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China) (2. Shandong Yuwang Ecological Food Co., Ltd., Yucheng 251200, China)

Abstract: The effects of low- and deep-vacuum frying on the quality, protein structure and surface microstructure of tofu puffs were studied. The water holding capacity, fat content, color, protein structure, and microstructure were used as indices to evaluate the effect of vacuum degree of vacuum frying technology on the quality and microstructure of tofu puffs. As the vacuum level increased, the fat content of tofu puffs gradually increased, while the change trend of water holding capacity was opposite to the fat content. The surface color changes showed that the L* value decreased, and the b* value and a* value increased. The secondary structure of protein showed that the content of α -helix decreased, while the β -sheet structure increased first and then decreased, but the content of random coil structure seldom changed. The microstructure of tofu puffs had few wrinkles on the surface and low roughness. These results can establish a theoretical foundation for the production of tofu and related products.

Key words: Tofu puffs; degree of vacuum; quality; micro structure

豆腐泡是我国一种传统豆制品, 产品内部出现许多的细而均匀的气孔呈海绵状, 韧而起弹性, 外表色泽呈现金黄色, 入口软糯弹韧, 具有浓郁的豆香味和油香味^[1]。豆腐泡营养十分丰富, 涵盖钙、铁等人体必需的多种微量元素, 还含有丰富的优质蛋白, 多种氨基酸、不饱和脂肪酸及磷脂等含量也很高。豆腐泡制作的传统工艺是将北豆腐切成 1.5×1.5×2 cm 方块在 150 °C 以上热油中炸制 7 min 左右而成。近年来, 由

收稿日期: 2018-04-22

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0400402)

作者简介: 李良 (1981-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 粮食、油脂及植物蛋白工程

通讯作者: 刘军 (1982-), 男, 工程师, 硕士, 研究方向: 食品科学与工程

于人们对食品安全和营养价值方面的追求, 常温高压油炸豆制品的营养物质流失严重、含油量过高、易焦糊、易产生致癌物质等问题逐渐受到广泛关注^[2]。

油炸是具有悠久历史的烹饪方式, 它不仅可杀灭食品中的细菌、延长保存期、改善风味, 并且具有加工时间短的优势, 因此油炸食品备受人们的喜爱^[3]。油炸是以油脂为热交换介质, 使被炸食品中的淀粉糊化, 蛋白质变性, 水分以蒸汽形式逸出, 使食品具有多孔性, 具有酥脆或外表酥脆的特殊口感, 同时由于食品中的蛋白质、碳水化合物、脂肪及一些微量成分在油炸过程中发生化学变化而产生特殊的风味^[4]。常温高压油炸技术的缺陷阻碍了豆制品的工业化进程, 采用新型油炸技术对推动传统豆制品的发展是十分有

必要的。

真空低温油炸是将油炸和脱水作用有机地结合在一起的高新技术^[5],物料在低温低压低氧的环境下进行油水替换脱水处理,样品处于负压状态,与常压相比可以减轻甚至避免氧化作用(例如脂肪酸败、酶促褐变和其他氧化变质等)所带来的危害^[6]。降低高温对原料营养及感官品质的破坏、减少有害物质生成^[7]。与常压油炸相比,可有效降低产品脂肪含量质量分数。低温真空油炸技术目前已广泛应用于薯类、果蔬和真菌等油炸加工行业,该技术也开始逐渐应用于豆制品加工行业,但低温真空油炸对豆腐泡品质和表面结构的影响目前尚无详细研究。本试验主要研究低温真空油炸制作豆腐泡过程中,真空度对豆腐泡持水性和脂肪质量分数的影响,通过色差仪测定真空度对豆腐泡颜色的影响,同时,利用红外光谱和扫描电镜研究豆腐泡蛋白二级结构和微观结构变化,从而为低温真空油炸技术应用于豆制品产业化加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

市售东北大豆。

1.2 仪器与设备

真空油炸设备,无锡南丰轻化设备有限公司生产;离心机,设备型号:CTK150R,长沙高新技术产业开发区湘仪离心机仪器有限公司;MAGNA-IR560傅立叶变换红外光谱系统,美国尼高力公司;CR-400彩色色差仪,日本柯尼卡美能达;分析天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;SU8020扫描电子显微镜,日本Hitachi公司。

1.3 方法

1.3.1 豆腐制作工艺

选取颗粒均匀饱满、无虫蛀霉变的新鲜市售东北黄豆,清洗后在室温下蒸馏水浸泡12~14 h,以豆:水=1:5的比例磨浆,过滤除去豆渣后的豆浆加入0.01%消泡剂除去泡沫得生豆浆。取500 mL生豆浆加热煮沸5~10 min得熟豆浆,在室温下静置待豆浆温度下降至90℃,加入凝固剂(1.0 g/100 mL蒸馏水)搅拌均匀后静置10~15 min豆浆形成均匀分布的豆花,倒入豆腐模具中压制30 min得成型豆腐^[8,9]。

1.3.2 豆腐泡制作工艺

成型豆腐切成3 cm左右的立方体,分别真空度0.075、0.080、0.085、0.090、0.095 MPa,温度105℃

下炸制7 min,豆腐泡在真空度不变,转速400 r/min条件下进行离心脱油3~5 min,即为成品。

1.4 脂肪含量

豆腐泡脂肪含量按照GB/T 5009.6-2013测定:研钵磨碎豆腐泡在烘箱加热干燥,利用索氏抽提法测定豆腐泡的脂肪含量。准确称量烘干豆腐泡(约3.000 g)和滤纸筒重量 M_1 ,抽提后烘干豆腐泡和滤纸筒重量 M_2 ,脂肪含量计算公式如下:重复两次实验,取平均数。

$$\text{脂肪含量}\% = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

1.5 水分含量

按照GB 5009.3-2016进行测定:采用直接干燥法测定豆腐泡的水分含量,取豆腐泡样品10 g左右,精确称定记为 M_3 ,准确称重干燥至恒重的扁形称瓶和盖记为 M_4 ,打开瓶盖加入样品,于105℃干燥4 h,将瓶盖盖好,移置干燥器中,冷却0.5 h,恒重后精确称重记为 M_5 。重复上述操作2~3次。样品水分含量计算公式如下:

$$\text{水分含量}\% = \frac{M_3 - (M_4 - M_5)}{M_3} \times 100$$

1.6 红外光谱测定

将冷冻干燥的豆腐泡样品充分研磨过筛成粉末,置于干燥器内用 P_2O_5 充分干燥,精确称取2.0 mg干燥的豆腐泡粉末样品,加入200 mg的KBr,进行研磨混合均匀,然后进行压片^[12],红外光谱仪以KBr为背景扫描,然后进行样品红外光谱扫描,扫描波段4000~1000 cm^{-1} ,分辨率4 cm^{-1} ,扫描次数32^[13]。采集的红外图谱处理采用Origin 8.5和Peakfit 4.21数据处理软件^[14]。

1.7 颜色测定

用圆筒刀切割豆腐泡成小块,并且直接在产品表面上进行读取^[15]。颜色用Hunter L(亮度),红-绿(+a或-a)和黄-蓝(+b或-b)表示。用色差仪测量样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值,其中 L^* 指明暗度,当 L^* 为正值时说明样品偏亮,为负值则说明偏暗; a^* 指红绿度,当 a^* 为正值时说明样品偏红,为负值时则说明偏绿; b^* 指黄蓝度,当 b^* 为正值时说明样品偏黄,为负值则说明偏蓝^[16]。标准白板的 $L=93.57$, $a=0.3162$ 和 $b=0.3326$ 被应用于校准,测量在每个样品的不同位置进行并取平均值^[17]。测量时,需要首先进行仪器的调零校准,

然后进行测量并记录数据，所有参数都在测量中一式三份。

1.8 微观结构

利用场发式扫描电子显微镜观测不同真空度对豆腐泡微观结构的影响^[18,19]。油炸处理的豆腐泡经离心脱水处理进行扫描电镜样品制备：取材：豆腐泡用双面刀片切成 2×5×5 mm 的小片；固定：样品用 2.5% Ph 6.8 戊二醛溶液固定，在 4 °C 放置 1.5 h 以上；冲洗：用 pH 6.8 的磷酸缓冲溶液冲洗 2 次，每次 10 min；脱水：依次用浓度为 50%、70%、90% 的乙醇进行脱水一次，每次 10 min，100% 乙醇脱水两次，每次 10 min；置换：100% 乙醇:叔丁醇=1:1 和纯叔丁醇各置换一次，每次 15 min；干燥：样品置于 -20 °C 冰箱 30 min，然后使用冷冻干燥仪对样品进行干燥；粘样：观测面朝上，样品用导电胶带固定在扫描电镜样品台上；镀膜：真空状态下镀金，离子溅射镀膜仪在样品表面镀一层金属膜；待检：处理好的样品置于样品盒中待检^[20]，1.0 kV 加速电压下观察微观结构，分析样品。

1.9 数据分析

每个试验至少重复 3 次，结果用“平均值±标准差”表示，数据分析使用 SPSS 20.0 软件进行差异显著性分析，组间平均差异在 $p < 0.05$ 时被认为是显著的。作图采用 Origin pro 8.5 和 Peakfit 4.12 软件。

2 结果与讨论

2.1 脂肪含量及水分含量

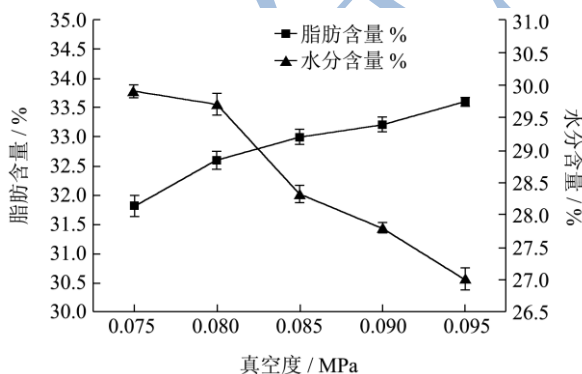


图 1 不同真空度豆腐泡脂肪含量及持水性

Fig.1 Fat content and water holding capacity of bean curd foam with different degrees of vacuum

脂肪和水分含量是评价豆腐泡品质的重要指标之一。豆腐在油炸处理过程中，内部水分逐渐迁移到表面，水蒸气气流不断由内向外流动，水分蒸发并从表面滋出，油逐渐浸入物料组织中^[21]。图 1 所示为不同

真空度条件下豆腐泡脂肪含量和水分含量，如图所示，真空度对豆腐泡水分含量及脂肪含量的影响程度较小，总体来说，物料持水性变化与真空度之间呈现出相反的趋势，炸制过程中样品的脂肪分数随真空度的增加呈现出逐渐增加的趋势。油炸过程中食物表面水分被加热到沸点温度，水开始蒸发而引起食物表面脱水，表面脱水迫使内部的水移到外表面，物料表面形成有细微差别的外皮壳，同时在物料内部产生空隙，一些油脂逐渐渗入物料内部^[22]，即在一定时间范围内，随着油炸时间的延长，物料中水分含量逐渐下降，而脂肪含量略有上升。

2.2 真空度对红外光谱的影响分析

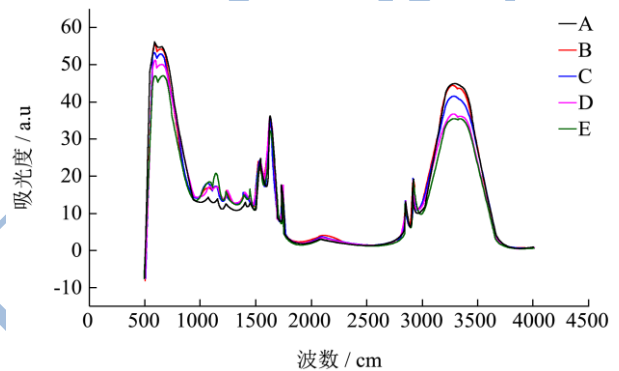


图 2 不同真空度豆腐泡 FT-IR 光谱分析

Fig.2 FT-IR spectroscopy analysis of bean curd foam with different degrees of vacuum

傅里叶红外变换光谱能够反应出蛋白质分子中氨基基团、酰胺 I 带(或 H-O-H 弯曲振动和 C=O 伸缩振动)、酰胺 II 带(N-H 弯曲)，酰胺 III 带(或 C-O 和 C-O-C 振动)、蛋白质环状结构中的 C-C 振动，以及 C-O-O 糖苷键振动波段信息^[23]。

蛋白质的 FT-IR 光谱数据使用 Peakfit 4.12 依次进行基线校正、去卷积处理、二阶导数拟合处理，经多次拟合确保拟合残差最小。参考已有研究，各子峰与二级结构对应关系为：1615~1637 和 1682~1700 cm^{-1} 为 β -折叠结构^[24]；1646~1664 cm^{-1} 为 α -螺旋结构^[25]；1637~1645 cm^{-1} 为无规则卷曲结构；1664~1681 cm^{-1} 为 β -转角结构^[26]。图 2 所示为不同真空度条件下豆腐泡 FT-IR 光谱。

将不同真空度低温油炸条件下炸制豆腐泡的酰胺 I 带原始图谱做二阶导数谱并同时采用 Gauss 峰形进行拟合，完全分辨重叠在一起的不同谱带，如图 3 所示^[27]。根据已有研究确定各子峰与二级结构的对应关系后，计算其积分面积并计算各二级结构的相对百分含量，如表 1 所示。豆腐泡制作过程中，随着真空度的增加，表现出 α 结构含量呈现减低趋势，而 β -折叠

结构含量先提升后降低,但无规卷曲结构含量变化较小。随真空度增加油炸温度不断升高,致使大豆蛋白质完全变性,有序的结构舒展解折叠,蛋白质分子亚基解离;同时,温度过高会导致蛋白质过度变性, β -折叠结构中平行式结构与反平行式结构呈相反的动态变化趋势,平行式的 β -折叠结构逐渐减少可能部分向反平行式的 β -折叠结构转换。

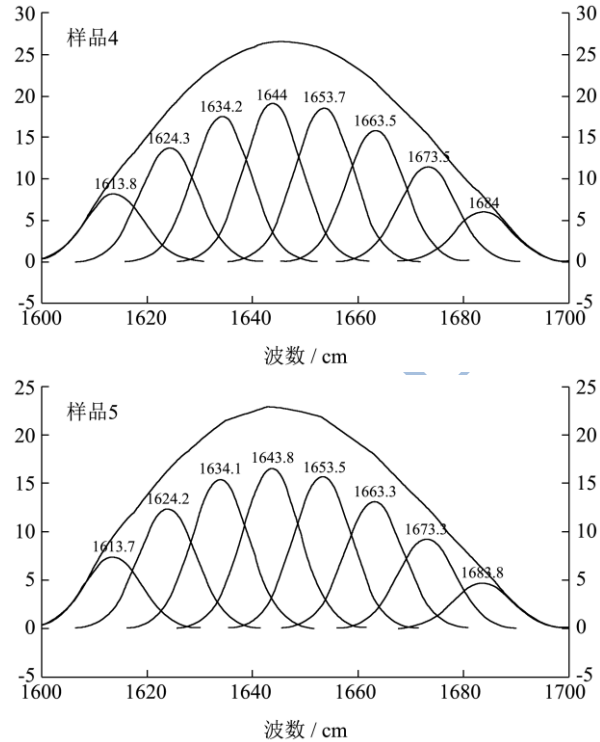
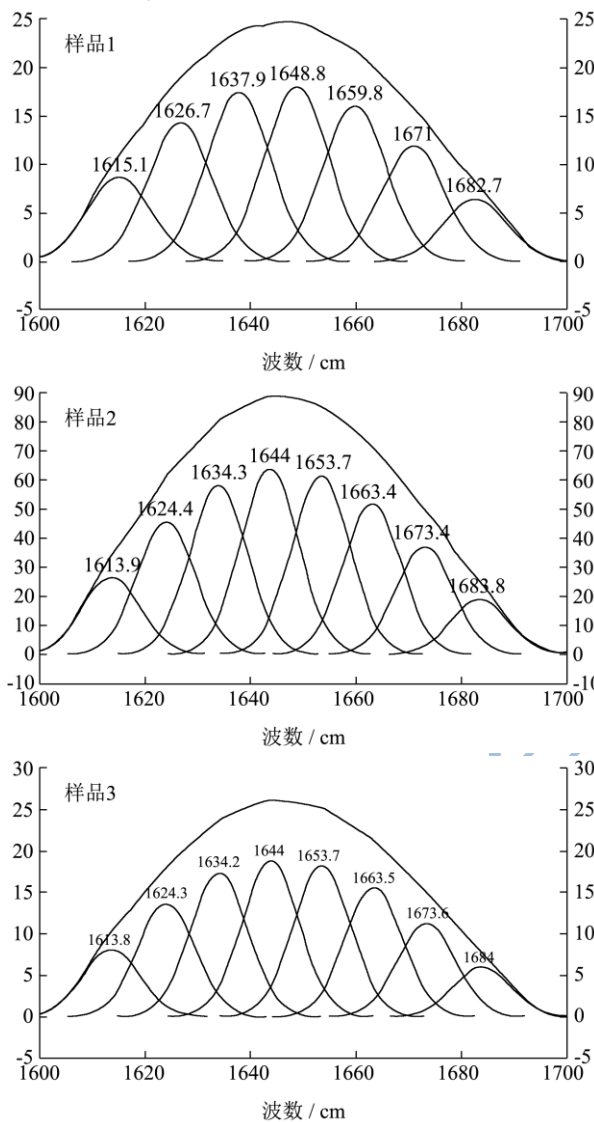


图3 不同真空度豆腐泡酰胺I带的拟合图谱

Fig.3 Fitting curves of the vesicle amide I band with different degrees of vacuum

2.3 真空度对豆腐泡颜色影响分析

豆腐泡颜色是消费者对其第一感官印象,也是豆腐泡在不接触状态下评价豆腐泡品质的重要依据。豆腐泡金黄色泽的形成是因为油脂本身会具有一定的颜色,同时在油炸过程中油与空间中氧在加热过程中反应所致,随着油炸温度增加颜色会逐渐变深^[28]。这主要由于在高温和油脂同时存在的条件下,豆腐泡中蛋白质褐变及淀粉糊化程度。图4显示了不同真空度对豆腐泡颜色的影响,随着真空度的升高油炸温度逐渐增加,L*值下降,b*值和a*值都有所增加。不同真空度条件下油炸豆腐色泽变化是由于豆腐泡表面蛋白质与还原糖发生褐变,少量淀粉发生糊化。

表1 不同真空度豆腐泡蛋白的二级结构含量

Table 1 Secondary structure contents of different Vacuum degree tofu puffs protein

样品	α -螺旋/%	β -折叠/%	β -转角/%	无规则卷曲/%
1	36.72 \pm 0.10 ^a	23.33 \pm 0.21 ^a	21.73 \pm 0.03 ^b	18.27 \pm 0.09 ^a
2	31.21 \pm 0.01 ^e	41.06 \pm 0.13 ^c	10.21 \pm 0.11 ^c	17.61 \pm 0.12 ^d
3	31.08 \pm 0.2 ^c	41.33 \pm 0.21 ^b	10.43 \pm 0.18 ^c	17.33 \pm 0.01 ^a
4	31.11 \pm 0.13 ^b	41.22 \pm 0.11 ^a	10.28 \pm 0.09 ^b	17.41 \pm 0.13 ^c
5	30.60 \pm 0.20 ^a	37.09 \pm 0.20 ^b	14.78 \pm 0.12 ^b	17.47 \pm 0.19 ^b

注: 同列不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

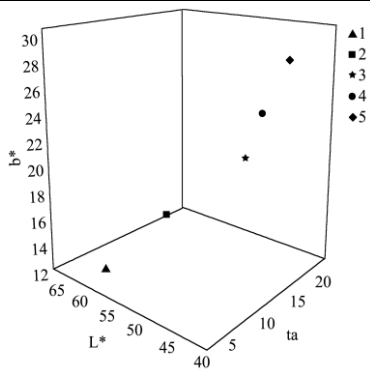


图 4 不同真空度对豆腐泡颜色的影响

Fig.4 The effect of different vacuum degrees on the color of tofu puffs

注: 1: 0.075 MPa 豆腐泡; 2: 0.080 MPa 豆腐泡; 3: 0.085 MPa 豆腐泡; 4: 0.090 MPa 豆腐泡; 5: 0.095 MPa 豆腐泡。

2.4 真空度对豆腐泡微观结构影响分析

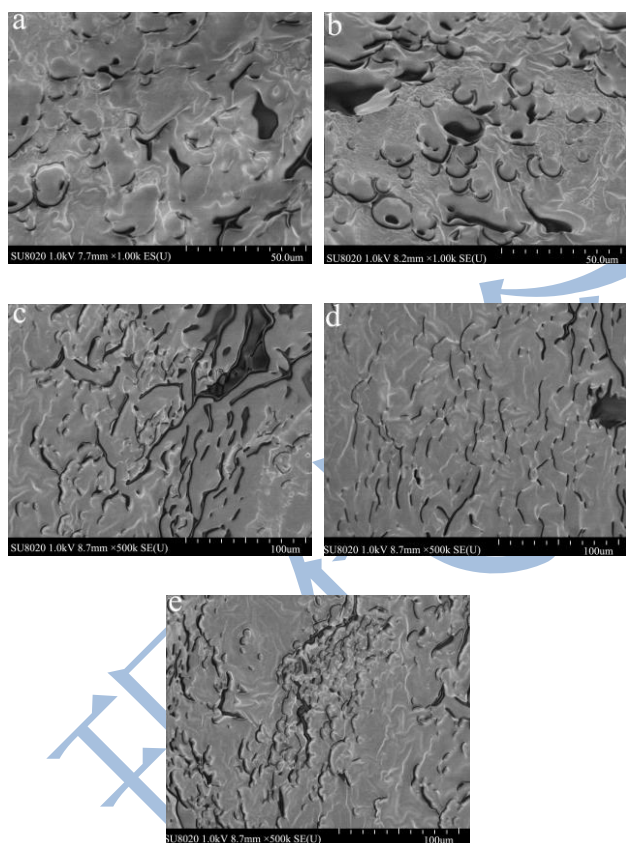


图 5 不同真空度低温真空油炸制豆腐泡的扫描电子显微结构图

Fig.5 Scanning electron microscopic structure diagram of vacuum fried deep-fried beancurd at different vacuum degrees

注: a: 0.075 MPa 豆腐泡; b: 0.080 MPa 豆腐泡; c: 0.085 MPa 豆腐泡; d: 0.090 MPa 豆腐泡; e: 0.095 MPa 豆腐泡。

图 5 分别显示了不同真空度低温真空油炸制豆腐泡的扫描电子显微结构图, 如图所示, 不同真空度

条件下油炸豆腐泡的外部微观结构存在一定程度的差异, 主要是由于不同真空度下压力差会促使吸附在物料表面的油脂进入其内部, 但物料内部水分阻止表面油进入, 影响物料表面和内部水分迁移蒸发速率, 从而影响豆腐泡表面结构。随着真空度增加, 物料表面和内部水分迁移速率逐渐减小, 表面失水量降低, 单位容积内的气孔的数减少且开始出现收缩现象, 物料表面形成的褶皱比较少, 粗糙度比较低。

3 结论

3.1 本试验主要研究低温真空油炸制作豆腐泡过程中, 不同真空度对油炸豆腐泡品质和表面微观结构的影响。

3.2 测定豆腐泡的脂肪分数和持水性等基本指标, 同时利用红外光谱、色差仪和扫描电镜检测豆腐泡蛋白质变性、色泽和微光结构等方面的信息。结果显示: 随着真空度增加, 豆腐泡的脂肪分数与持水性呈现相反的变化趋势; 色泽变化表现为 L*值下降, b*值和 a*值增加; 蛋白质二级结构中, α 结构含量呈现减低趋势, 而 β -折叠结构含量先提升后降低, 但无规卷曲结构含量变化较小; 豆腐泡表面形成的褶皱较少, 粗糙度较低。

参考文献

- [1] ZUO F, CHEN Z J, Shi X D, et al. Yield and textural properties of tofu as affected by soymilk coagulation prepared by a high-temperature pressure cooking process [J]. Food Chemistry, 2016, 213: 561-566
- [2] 赵凤敏, 杨延辰, 王远, 等. 真空油炸马铃薯片加工工艺的研究[J]. 农产品加工(学刊), 2005, 12: 33-37
ZHAO Feng-min, YANG Yan-chen, WANG Yuan, et al. Research on the processing technology of vacuum fried potato chips [J]. Agricultural Products Processing, 2005, 12: 33-37
- [3] 王冰冰. 浅谈油炸食品对人体健康的影响[J]. 中国食物与营养, 2010, 8: 74-77
WANG Bing-bing. Talking about the influence of fried food on human health [J]. Chinese Food & Nutrition, 2010, 8: 74-77
- [4] TIAN J, CHEN S, SHI J, et al. Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: an *in vitro* study [J]. Food Structure, 2017
- [5] SU Y, ZHANG M, ZHANG W, et al. Ultrasonic microwave-assisted vacuum frying technique as a novel frying method for potato chips at low frying temperature [J].

- Food & Bioproducts Processing, 2018
- [6] 范友丙,张慤,周祥,等.富硒海芦笋的真空油炸工艺研究[J].食品科学,2009,30(12):82-85
FAN You-bing, ZHANG Min, ZHOU Xiang, et al. Vacuum frying process of selenium-enriched sea asparagus [J]. Food Science, 2009, 30(12): 82-85
- [7] Contardo I, Parada J, Leiva A, et al. The effect of vacuum frying on starch gelatinization and its *in vitro* digestibility in starch-gluten matrices [J]. Food Chemistry, 2016, 197(Pt A): 353-358
- [8] Feng Z, Chen Z, Shi X, et al. Yield and textural properties of tofu as affected by soymilk coagulation prepared by a high-temperature pressure cooking process [J]. Food Chemistry, 2016, 213: 561-566
- [9] KAO F J, NANWEI SU A, LEE M H. Effect of calcium sulfate concentration in soymilk on the microstructure of firm tofu and the protein constitutions in tofu whey [J]. J Agric Food Chem., 2003, 51(21): 6211-6216
- [10] 刘灵飞,陈颖慧,徐婧婷,等.凝固剂混合方式对盐卤豆腐品质特性的影响[J].食品科学,2017,38(7):102-108
LIU Ling-fei, CHEN Ying-hui, XU Jing-ting, et al. Effect of coagulant mixing methods on quality characteristics of salt-broken tofu [J]. Food Science, 2017, 38(7): 102-108
- [11] 王玉娇,陈晓红,李伟,等.青梅汁酸凝豆腐质构优化及显微结构分析[J].食品科学,2014,35(6):40-43
WANG Yu-jiao, CHEN Xiao-hong, LI Wei, et al. Texture optimization and microstructure analysis of cured green yogurt [J]. Food Science, 2014, 35(6): 40-43
- [12] Zhang Z, Wang X, Yu J, et al. Freeze-thaw stability of oil-in-water emulsions stabilized by soy protein isolate-dextran conjugates [J]. LWT Food Science and Technology, 2017, 78: 241-249
- [13] 龙国徽.大豆蛋白的结构特征与营养价值的关系[D].长春:吉林农业大学,2015
LONG Guo-hui. The relationship between the structural characteristics and nutritional value of soybean protein [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2015
- [14] Cote Y, Nomine Y, Ramirez J, et al. Peptide-protein binding investigated by far-IR spectroscopy and molecular dynamics simulations [J]. Biophysical Journal, 2017, 112(12): 2575
- [15] Kamizake N K K, Silva L C P, Prudencio S H. Effect of soybean aging on the quality of soymilk, firmness of tofu and optimum coagulant concentration [J]. Food Chemistry, 2016, 190: 90-96
- [16] Prabhakaran M P, Perera C O, Valiyaveetti S. Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu [J]. Food Chemistry, 2006, 99(3): 492-499
- [17] Noh E J, Park S Y, Pak J I, et al. Coagulation of soymilk and quality of tofu as affected by freeze treatment of soybeans [J]. Food Chemistry, 2005, 91(4): 715-721
- [18] Li C, Rui X, Zhang Y, et al. Production of tofu by lactic acid bacteria isolated from naturally fermented soy whey and evaluation of its quality [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 82
- [19] Li J, Cheng Y, Tatsumi E, et al. The use of W/O/W controlled-release coagulants to improve the quality of bitterm-solidified tofu [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 35(3): 627-635
- [20] Nathdanai Harnkarnsujarit, Kiyoshi Kawai, Manabu Watanabe, et al. Effects of freezing on microstructure and rehydration properties of freeze-dried soybean curd [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 184: 10-20
- [21] 王肖莉,薛淑静,李露,等.鲜香菇渗透脱水与真空油炸联合干燥动力学分析[J].湖北农业科学,2015,54(21):5368-5371
WANG Xiao-li, XUE Shu-jing, LI Lu, et al. Kinetic analysis of the combined drying and dehydration of fresh mushrooms and vacuum frying [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(21): 5368-5371
- [22] 杨铭铎,邓云,石长波,等.油炸过程与油炸食品品质的动态关系研究[J].中国粮油学报,2006,5:93-97
YANG Ming-duo, DENG Yun, SHI Chang-bo, et al. Dynamic relationship between frying process and frying food quality [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2006, 5: 93-97
- [23] Barth A. Infrared spectroscopy of proteins [J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics, 2007, 1767(9): 1073-1101
- [24] Meng G, Ma C Y. Characterization of globulin from *Phaseolus angularis* (red bean) [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2002, 37(6): 687-695
- [25] Zhao X, Chen F, Xue W, et al. FTIR spectra studies on the secondary structures of 7S and 11S globulins from soybean proteins using AOT reverse micellar extraction [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(4): 568-575
- [26] Nguyen J, Baldwin M A, Cohen F E, et al. Prion protein peptides induce. alpha-helix to. beta-sheet conformational transitions [J]. Biochemistry, 1995, 34(13): 4186-4192
- [27] Martínezvelasco A, Lobatocalleros C, Hernándezrodríguez B

- E, et al. High intensity ultrasound treatment of faba bean (*Vicia faba* L.) protein: Effect on surface properties, foaming ability and structural changes [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, 44
- [28] 孙亚娟.不同烘焙温度对带种皮压榨杏仁油品质特性的影响[D].长沙:中南林业科技大学,2017
- SUN Ya-juan. Effects of different baking temperatures on the quality characteristics of almond oil with test-skin press [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2017

现代食品科技