

油炸工艺对高油酸花生品质与微观结构的影响

曹晓雨^{1,2}, 赵赓九², 张慧丽¹, 刘晓光³, 王强², 刘红芝^{2*}

(¹ 辽宁大学轻型产业学院 沈阳 110036

² 中国农业科学院农产品加工研究所 农业农村部农产品加工重点实验室 北京 100193

³ 唐山市农业科学研究院 河北唐山 063001)

摘要 研究植物油种类、油炸温度、油炸时间对油炸花生感官品质、质构特性的影响,并通过激光共聚焦扫描显微镜(CLSM)和扫描电镜(SEM)观察油炸前、后花生微观结构的变化。结果表明,油炸最佳工艺条件:植物油种类为棕榈油,油炸温度 140℃、油炸时间 8 min。在该工艺条件下油炸花生色泽均匀,口味香甜,口感酥脆,硬度 7.30 kg,脆性 0.27 mm,感官得分 48.9,水分含量 0.87 g/100 g、酸价 1.20 g/100 g、过氧化值 0.09 g/100 g,扫描电镜与激光共聚焦显微镜观察的结果一致,花生在油炸后细胞壁断裂,细胞质丢失,出现孔状结构,细胞内油体增加,蛋白体聚集。

关键词 油炸花生;感官品质;质构特性;微观结构

文章编号 1009-7848(2022)08-0200-07 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.08.022

花生(*Arachis hypogaea* L.)起源于南美洲,属豆科、蝶形花亚科、花生属草本一年生植物,又名落花生、长生果等,是我国重要的油料作物之一,具有很高的营养价值和经济价值^[1]。我国是花生生产大国,2020 年我国花生产量达到 1 750 万 t,占全球总量的 37.0%,位居世界第一。在我国的花生消费结构中,50%用于制油,40%用于食用,6%用于饲料,4%用于出口(USDA, 2021)。食用花生通常被加工成油炸花生、烘烤花生、花生酱等产品,其中油炸花生作为我国主要的花生休闲食品,在食用花生消费结构中占比较大。

对于油炸食品来说,植物油种类、油炸温度和油炸时间是影响其品质的关键因素,会影响食品色泽、质地和风味^[2]。一般情况下,不同种类的植物油对油炸食品风味的影响较大^[3-4],油炸温度和油炸时间对油炸食品的色泽和质地影响较大^[5-6]。近年来,高油酸花生的品种选育、推广种植以及产品加工受到越来越多的重视^[7]。对比普通品种,高

油酸品种花生油酸含量较高,花生产品稳定性高,不易发生氧化酸败,产品保质期明显延长^[8-9]。另有研究表明^[10],高油酸品种的油炸花生对比传统的普通油酸品种,口味更甜,色泽更浅。目前,对于油炸花生的研究多针对不同品种花生油炸后的感官、质构特性差异^[11],同一品种花生在不同加工工艺下品质的区别^[12-13],油炸花生贮藏过程中氧化酸败等方面的研究^[14-15]。然而,对于高油酸品种花生的油炸工艺以及油炸后花生微观结构变化方面的研究鲜有报道。本文从植物油种类、油炸温度和油炸时间 3 个因素着手,研究不同油炸工艺对花生品质的影响及其微观结构的变化。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

花生,唐山市农业科学研究院;棕榈油,天津聚龙粮油有限公司;一级花生油、三级菜籽油,山东鲁花集团有限公司;一级葵花籽油,上海佳格食品有限公司(多力);一级大豆油,中粮食品营销有限公司(福临门);尼罗红、异硫氰酸荧光素异构体 I(FITC),北京索莱宝生物技术有限公司;丙酮,上海源叶生物科技有限公司;PBS 磷酸盐缓冲液(pH=7.4),赛默飞世尔生物化学制品(北京)有限公司。

1.2 仪器与设备

便携式花生品质速测仪,北京凯元盛世科技

收稿日期: 2021-08-31

基金项目: 河北省油料产业体系项目(HBCT2019090203);
国家花生产业技术体系项目(CARS-13-03A); 中国农业科学院基本科研业务费专项(CAAS-ASTIP-2020-IFST)

作者简介: 曹晓雨(1998—),男,硕士生

通信作者: 刘红芝 E-mail: liuhongzhi@caas.com

发展公司、中国农业科学院农产品加工研究所; YP5001 电子天平, 上海越平科学仪器(苏州)制造有限公司; 万分之一分析天平 CPA225D, 德国 Sartorius 公司; 花生湿法脱皮机, 安丘万邦食品机械有限公司; 台式双缸双筛电炸炉, 广州富祺食品机械有限公司; L YNX6000 型高速离心机, 美国 Thermo Scientific 公司; TA-TX2i 质构分析仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; S-570 扫描电子显微镜, 日本日立公司; TCS SP8 激光共聚焦显微镜, 德国 Leica 公司。

1.3 方法

1.3.1 花生原料品质特性测定 利用便携式花生品质速测仪测定花生原料的基本营养组分, 具体包括水分、蛋白质、脂肪、蔗糖、油酸(C18:1)、亚油酸(C18:2)、棕榈酸(C16:0)、山萘酸(C22:0)、硬脂酸(C18:0)、花生酸(C20:0)、木焦油酸(C24:0)、18 种氨基酸、维生素 E、花生球蛋白、伴花生球蛋白等指标。

1.3.2 油炸工艺单因素实验 分别探讨植物油种类(大豆油、葵花籽油、棕榈油、花生油和菜籽油)、油炸温度(120, 130, 140, 150 °C 和 160 °C)、油炸时间(4, 6, 8, 10 min 和 12 min) 对油炸花生感官品质、质构特性的影响。

1.3.3 油炸花生基本流程 参考相关专利^[16]将花生在 90 °C 的热水中浸泡 5 min, 利用花生湿法脱皮机脱去红衣, 在自然条件下沥干水分, 选择棕榈油, 在油温 140 °C 的条件下油炸 8 min, 之后利用离心机, 转速 1 500 r/min 时间 5 min 进行滴油处理, 最后自然冷却装袋保存。

1.3.4 油炸花生质构特性测定 参考文献 [17-18], 设置压力测试参数为探头类型 P/36R mm, 操作类型 Return to start, 测试速度 2.00 mm/s, 目标模式为 Strain mode, 等待时间 0 s, 操作模式为压力测定, 测试前速度 2.00 mm/s, 测试后速度 2.00 mm/s, 压缩程度 40%, 触发应力 15 g。

1.3.5 油炸花生色泽测定 采用 CS-600A 分光测色仪测定产品的亮度 L^* 、红度 a^* 、黄度 b^* 。

1.3.6 感官评价 制定油炸花生感官评价标准进行打分, 此次感官评价由 10 位(4 男 6 女, 年龄 20~35 周岁) 经过专业培训的实验室人员组成评价小组, 按照表的评价标准对油炸花生的外观、色

泽、气味、口味、口感、杂质以及总体可接受性进行打分, 评分结果以平均分进行表示。

表 1 油炸花生感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards of fried peanut		
项目	评分标准	得分/分
外观	整体质地匀整, 呈整粒或半粒状	7~9
	质地较匀整, 有少量碎粒	4~6
	质地不均匀, 碎粒较多	1~3
色泽	呈现均匀的浅黄色, 稍有光泽	7~9
	色泽变深直至褐黄色, 无光泽	4~6
	呈现焦黄色或黑褐色	1~3
气味	具有油炸花生应有的香气, 气味浓郁	7~9
	油炸花生应有的香气平淡	4~6
	无香气且具有影响食欲的异味	1~3
口味	具有油炸花生应有的滋味, 口味香甜	7~9
	油炸花生应有的滋味平淡, 口味较腻	4~6
	具有生味、焦糊味及其它异味	1~3
口感	口感酥脆	7~9
	较硬或较软	4~6
	过硬或过软	1~3
杂质	无明显可见杂质	7~9
	较多非本品物质、花生种皮、无食用价值的坏粒糊粒	4~6
	具有影响卫生的有害杂质	1~3
总体可接受性	很好, 可以接受	7~9
	一般, 勉强接受	4~6
	很差, 不能接受	1~3

1.3.7 油炸花生理化指标测定 依次参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》, GB 5009.229-2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》第二法, GB 5009.227-2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》第一法, 对油炸花生水分、酸价、过氧化值进行测定。

1.3.8 油炸前、后花生微观结构观察 将油炸前、后所得花生样品取截面进行喷金处理, 利用扫描电子显微镜下观察其微观结构变化。

激光共聚焦显微镜对花生细胞组织结构观察

步骤为:准备样品→制片→染色→上机;对油炸前、后花生所制得的半薄切片进行染色^[9],其步骤为:0.2% FITC 染色→避光放置 15 min→pH=7.4 PBS 冲洗→0.1% 尼罗红染色→避光放置 15 min→pH=7.4 PBS 冲洗→盖玻片盖住。

1.4 数据处理

采用 SPSS Statistics 26 进行数据显著性分析 ($P<0.05$, 差异显著), 通过 Origin 2019 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 花生原料品质特性

花生原料品质特性的测定结果如表 2 所示, 可以看出其油酸含量占脂肪酸总量的 78.52%, NY/T 3250-2018《高油酸花生》中规定用于食用和油用的油酸含量占脂肪酸含量 73%及以上的花生为高油酸花生原料, 故本试验中使用的花生原料为高油酸品种花生。该品种花生原料含有 18 种氨基酸, 其中精氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸含量较高, 色氨酸、蛋氨酸、半胱氨酸含量低。

表 2 花生原料品质特性

Table 2 Quality characteristics of peanuts

指标	含量	指标	含量
水分/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	6.58 ± 0.63	谷氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	4.48 ± 0.48
脂肪/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	52.16 ± 0.90	缬氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	1.09 ± 0.09
蛋白质/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	27.48 ± 1.62	精氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	3.27 ± 0.09
蔗糖/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	5.56 ± 0.36	赖氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	1.33 ± 0.03
油酸/%	78.52 ± 0.68	亮氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	2.02 ± 0.18
亚油酸/%	4.83 ± 0.23	酪氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	1.60 ± 0.05
棕榈酸/%	8.54 ± 1.00	色氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	0.14 ± 0.01
山萘酸/%	1.76 ± 0.14	苏氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	0.70 ± 0.06
硬脂酸/%	2.00 ± 0.17	丝氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	1.64 ± 0.12
花生酸/%	0.96 ± 0.07	天门冬氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	2.98 ± 0.03
木焦油酸/%	1.52 ± 0.02	异亮氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	0.92 ± 0.07
苯丙氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	1.52 ± 0.21	组氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	0.63 ± 0.04
丙氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	1.14 ± 0.10	维生素 E/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	16.20 ± 4.17
半胱氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	0.44 ± 0.06	23.5 ku/%	22.08 ± 1.67
蛋氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	0.28 ± 0.03	37.5 ku/%	13.96 ± 0.26
脯氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	0.95 ± 0.08	花生球蛋白/%	62.38 ± 3.23
甘氨酸/ $\text{g}\cdot(100\text{g})^{-1}$	2.01 ± 0.10	伴花生球蛋白/%	38.12 ± 3.45

2.2 油炸工艺对花生品质的影响

2.2.1 植物油种类对油炸花生品质的影响 由图 1 可以看出, 不同种类的植物油对油炸花生 L^* 、 a^* 、 b^* 值和感官得分有较为显著的影响。当油的种类为棕榈油和葵花籽油时, L^* 、 a^* 、 b^* 值和感官得分均有差异显著。当油的种类为豆油和花生油时, L^* 、 a^* 、 b^* 值以及感官得分均无显著差异。当油的种类为菜籽油时, L^* 值最小为 67.50、 a^* 值最大为 10.00, 油炸花生整体亮度偏暗, 颜色较红, 感官得分最低。当油的种类为棕榈油时, L^* 值 74.94、 a^* 值 3.99、 b^* 值 28.36、感官得分 48.9, 此时油炸花生的

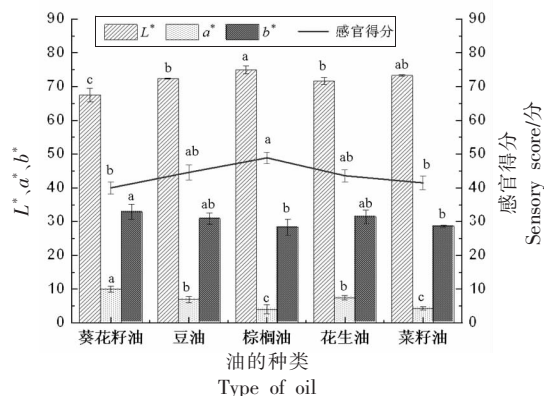


图 1 油的种类对花生色泽和感官得分的影响

Fig.1 Effect of oil types on color and sensory score of peanut

综合品质较好。综上所述,选择棕榈油作为后续油炸试验用油,继续讨论油炸温度和油炸时间对花生品质的影响。

由表 3 可以看出,不同种类的植物油对油炸花生质构特性并无显著影响,在相同的油炸温度和油炸时间下,油炸花生的脆性和硬度无显著变化。当植物油种类为葵花籽油时,硬度最大为 8.54 kg,硬度指的是在压缩过程中出现的最大峰值,多为最大变形处。当植物油种类为菜籽油时,脆性最大。

2.2.2 油炸温度对油炸花生品质的影响 由图 2 可以看出,不同油炸温度之间花生 L^* 、 a^* 、 b^* 值和感官得分均有显著差异。油炸温度为 120~140 °C 时,油炸花生 L^* 值和感官得分随着温度的升高而增大。140~160 °C 时,油炸花生 L^* 值和感官得分随着温度的升高而减小。随着油炸温度的升高,油炸花生 a^* 、 b^* 值持续增大。 a^* 值增大表明油炸花生趋向于红色, b^* 值增大说明趋于黄色。在 160 °C 时,由于美拉德反应和焦糖化反应影响,油炸花生 L^* 值最低为 61.71, a^* 值最高为 13.62, b^* 值最高为 35.03,整体色泽呈现暗红色,并出现令人不愉悦的焦糊味,导致感官得分较低为 31.4。综上所述,选择油炸温度为 140 °C 作为后续油炸试验参数,讨论油炸时间对花生品质的影响。

由表 4 可以看出,油炸温度为 120~140 °C 时,油炸花生的脆性随着温度的升高而增大,这是由于温度越高,油炸过程中花生水分蒸发越快,出现疏松多孔的结构,导致花生的质地变脆。140~160 °C 时,不同油炸温度之间油炸花生的脆性无显著差异。随着油炸温度升高,油炸花生硬度虽缓慢增大,但并未出现显著差异。

2.2.3 油炸时间对油炸花生品质的影响 由图 3 可以看出,不同油炸时间之间花生 L^* 、 a^* 、 b^* 值和感官得分均有显著差异。随着油炸时间的增加, a^* 、 b^* 值呈现增加的趋势,表明油炸花生逐渐趋向于红黄色。当油炸时间为 4~8 min 时,油炸花生 L^* 值和感官得分随着时间的增加而增大;8~12 min 时,油炸花生 L^* 值和感官得分随着时间的增加而减小。这是由于油炸时间过短时,花生有明显的生味,水分含量较大,口感较差,而当油炸时间过长,花生出现焦糊味,色泽呈现暗红色,无光泽。当油

表 3 油的种类对花生质构特性的影响

Table 3 Effect of oil types on texture characteristics of peanut

油的种类	脆性值/mm	硬度/kg
葵花籽油	0.26 ± 0.04 ^a	8.54 ± 0.91 ^a
豆油	0.25 ± 0.04 ^a	6.74 ± 0.72 ^a
棕榈油	0.27 ± 0.02 ^a	7.30 ± 0.82 ^a
花生油	0.29 ± 0.06 ^a	7.19 ± 0.96 ^a
菜籽油	0.24 ± 0.05 ^a	8.27 ± 0.42 ^a

注:脆性. 在压缩过程中第一次产生破裂,曲线中出现一个明显的峰,因此脆性值越小,表明脆性越大;同一列的不同字母表示存在显著性差异($P < 0.05$),下同。

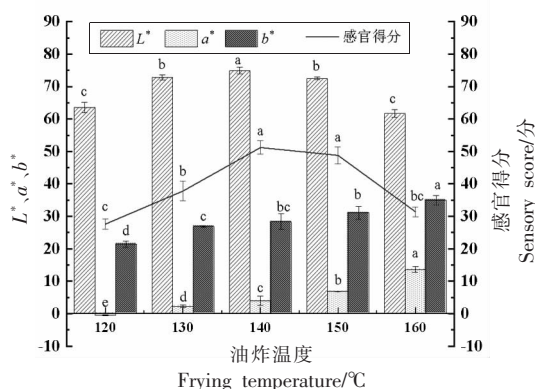


图 2 油炸温度对花生色泽和感官得分的影响

Fig.2 Effect of frying temperature on color and sensory score of peanut

表 4 油炸温度对花生质构特性的影响

Table 4 Effects of frying temperature on texture characteristics of peanut

油炸温度/°C	脆性值/mm	硬度/kg
120	1.79 ± 0.07 ^a	6.48 ± 0.84 ^a
130	0.49 ± 0.10 ^b	6.75 ± 0.57 ^a
140	0.28 ± 0.03 ^c	7.30 ± 0.75 ^a
150	0.24 ± 0.05 ^c	7.56 ± 1.18 ^a
160	0.25 ± 0.04 ^c	7.69 ± 0.84 ^a

炸时间为 8 min 时, L^* 值最大为 74.94,感官得分最高为 48.9。综上所述,选择油炸时间为 8 min 作为后续油炸试验参数。

由表 5 可以看出,随着油炸时间逐渐增加,油炸花生的脆性显著增大,这是由于时间越长,油炸过程中花生水分含量越小,导致花生的质地变脆。油炸时间 4~10 min 时,油炸花生的硬度逐渐增

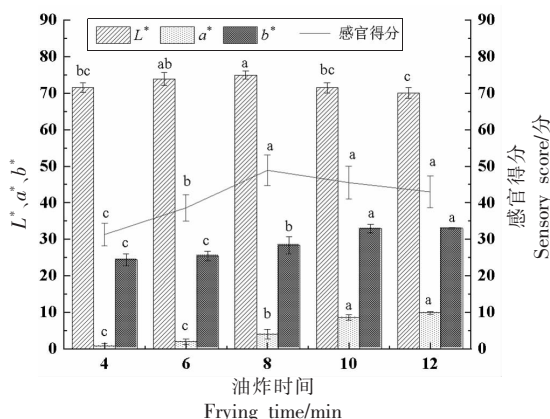


图3 油炸时间对花生色泽和感官得分的影响

Fig.3 Effect of frying time on color and sensory score of peanut

大,并在 10 min 时硬度达到最大值为 10.55 kg,之后油炸时间继续增加,油炸花生硬度开始变小,这是由于油炸过程中花生水分丧失越来越多,细胞结构遭到更为严重的破坏,导致整体硬度出现降低的趋势。

2.3 油炸花生理化指标测定结果

由表 6 可知,油炸花生的各项理化指标均符合 GB/T 16565-2003《油炸小食品卫生标准》、QB/T 1733.5-2015《油炸花生仁》、SN/T 0321.2-2016《进出口油炸花生仁检验规程》等标准中的要求。

2.4 花生微观结构的观察

利用 SEM 对油炸前、后花生横截面进行观察,放大倍数为 400 倍。图 4a 可以观察到油炸前花生细胞结构完整,外层由单层表皮细胞与薄壁细胞组成,薄壁细胞内的颗粒是油体、蛋白体以及淀粉粒^[20];图 4b 为油炸后的花生,可以看到有些细胞内的细胞质几乎全部丢失,这是由于花生经过热水浸泡、高温油炸后,表面的细胞层遭到严重破坏而导致的结果。另外可以观察到花生经过油炸后内部出现疏孔状结构,这是由于高温造成花生水分大量丢失而导致的结果。

花生中油体和蛋白体分布的变化会受到油炸条件的影响。利用 CLSM 观察油炸前、后花生细胞中油体和蛋白体分布的变化。油体利用尼罗红染色,蛋白体利用 FITC 染色。尼罗红的发射波长为 514 nm,尼罗红的激发波长为 561 nm。FITC 的发射波长为 488 nm,FITC 的激发波长为 518 nm。图

表 5 油炸时间对花生质构特性的影响

Table 5 Effects of frying time on texture characteristics of peanut

油炸时间/min	脆性值/mm	硬度/kg
4	0.79 ± 0.12 ^a	5.69 ± 0.82 ^b
6	0.35 ± 0.06 ^b	6.71 ± 0.91 ^b
8	0.27 ± 0.02 ^c	7.78 ± 1.19 ^b
10	0.26 ± 0.03 ^c	10.55 ± 1.44 ^a
12	0.22 ± 0.02 ^c	7.22 ± 0.89 ^b

表 6 油炸花生理化指标

Table 6 Physicochemical indexes of fried peanut

样本名称	指标	结果
	水分	0.87 ± 0.11
油炸花生	酸价 (以脂肪计, KOH)/g · (100 g) ⁻¹	1.20 ± 0.03
	过氧化值(以脂肪计)/g · (100 g) ⁻¹	0.09 ± 0.01

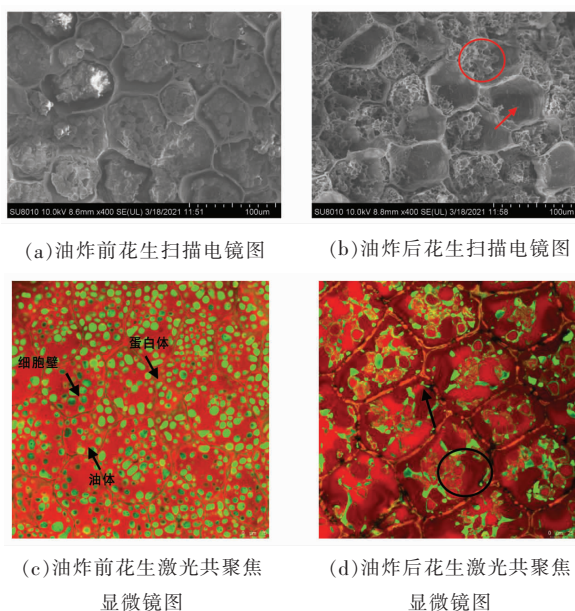


图 4 油炸前、后花生微观结构

Fig.4 Microstructure of peanut before and after frying

4c、4d 显示了油炸前、后的花生细胞中油体和蛋白体的分布情况,为了观察到相对较大的细胞视野,放大倍数选择为原始尺寸的 40 倍。由图 4c 可以观察到花生细胞中脂肪以油体的形式存在于细胞内,蛋白体均匀的分散在脂肪中。细胞的平均直径为 20~25 μm,蛋白体的平均直径为 2~3 μm,细

胞壁的平均厚度为 1.1~1.3 μm 。由图 4d 可以观察到在油炸后细胞结构遭到严重的破坏,细胞壁发生明显的断裂,细胞内油体明显多于油炸前,这是由于高温油炸时,水分丧失导致花生内部出现更多的孔状结构,给油体进入细胞内提供了通道,另外可以明显的观察到油体覆盖在蛋白体上,同时在油炸后,原本在细胞内均匀分布的蛋白体出现聚集的现象。

3 结论

本文通过单因素实验确定了油炸花生最佳油炸条件:油的种类为棕榈油、油炸温度 140 $^{\circ}\text{C}$ 、油炸时间 8 min。该工艺条件下油炸花生感官得分最高为 48.9,硬度 7.30 kg,脆性 0.27 mm,水分含量 0.87 g/100 g、酸价 1.20 g/100 g、过氧化值 0.09 g/100 g,各项理化指标均显著低于各检测标准中的规定,品质较优。另外通过 SEM 和 CLSM 观察了油炸前、后花生微观结构的变化情况,结果显示油炸后花生的微观结构遭到严重的破坏,表层细胞受损,细胞质丢失,细胞壁发生断裂,花生内部出现疏松多孔的结构,导致细胞内油体增加,另外蛋白体发生聚集现象。

参 考 文 献

- [1] 王强. 花生加工品质学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 1-3.
WANG Q. Peanut processing quality [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2013: 1-3.
- [2] 张聪, 陈德慰. 油炸食品风味的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3085-3091.
ZHANG C, CHEN D W. Research progress of fried food flavor[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2014, 5(10): 3085-3091.
- [3] KITA A, LISINSKA G, GOLUBOWSKA G. The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps [J]. Food Chem, 2007, 102(1): 1-5.
- [4] 周晓璐, 王蕊, 高媛媛, 等. 油炸用油的种类对炸鱼丸的品质及 *N*-亚硝胺含量的影响[J]. 肉类研究, 2016, 30(11): 11-15.
ZHOU X L, WANG R, GAO Y Y, et al. Effects of different kinds of frying oil on the quality and *N*-nitrosamine content of fried fish balls [J]. Meat Research, 2016, 30(11): 11-15.
- [5] WANG B, LI H J, HUANG Z B, et al. Dynamic changes in the qualities and heterocyclic aromatic amines of roasted pork induced by frying temperature and time[J]. Meat Science, 2021, 176: 108457.
- [6] FALOYE O R, SOBUKOLA O P, SHITTU T A, et al. Influence of frying parameters and optimization of deep fat frying conditions on the physicochemical and textural properties of chicken nuggets from FUNAAB-Alpha broilers [J]. SN Applied Sciences, 2021, 3(2): 241.
- [7] 赵志浩, 石爱民, 王强. 高油酸花生的研究进展与发展趋势[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(9): 1-4.
ZHAO Z H, SHI A M, WANG Q. Research progress and development trend of high oleic acid peanut [J]. Food and Oil, 2019, 32(9): 1-4.
- [8] RIVEROS C G, MESTRALLET M G, GAYOL M F, et al. Effect of storage on chemical and sensory profiles of peanut pastes prepared with high-oleic and normal peanuts [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(15): 2694-2699.
- [9] ORQIDEA V S, SILVIA A C A, ROSANGELA P, et al. Physicochemical, chromatographic, oxidative, and thermogravimetric parameters of high-oleic peanut oil (*Arachis hypogaea* L. IAC-505) [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2019, 138(2): 1793-1800.
- [10] 王传堂, 王志伟, 穆树旗, 等. 高油酸长粒大花生新品种花育 963 油炸花生仁感官评价[J]. 山东农业科学, 2020, 52(12): 21-23.
WANG C T, WANG Z W, MU S Q, et al. Sensory evaluation of fried peanut kernel of Huayu 963 [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(12): 21-23.
- [11] 孙健, 梁茂法, 钮福祥, 等. 真空油炸花生加工工艺及感官特性[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 262-264.
SUN J, LIANG M F, NIU F X, et al. Processing technology and sensory characteristics of vacuum fried peanut [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(4): 262-264.
- [12] 王洪云, 张翠英, 孙健, 等. 不同加工工艺对真空油炸花生品质特性的影响[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(10): 35-39.
WANG H Y, ZHANG C Y, SUN J, et al. Effect

- of different processing technology on quality characteristics of vacuum fried peanut[J]. *China Food and Nutrition*, 2015, 21(10): 35–39.
- [13] SHI X L, DAVIS J P, XIA Z T, et al. Characterization of peanuts after dry roasting, oil roasting, and blister frying [J]. *LWT – Food Science and Technology*, 2017, 75: 520–528.
- [14] 陈锦豪. 加工及包装工艺对油炸花生保质期的影响研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
CHEN J H. Effect of processing and packaging technology on the shelf life of fried peanut [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017.
- [15] 徐会茹, 王珊珊, 李秋, 等. 茶多酚在油炸花生中的研究与应用[J]. *粮食与食品工业*, 2015, 22(5): 68–70, 75.
XU H R, WANG S S, LI Q, et al. Research and application of tea polyphenols in fried peanuts [J]. *Food and Food Industry*, 2015, 22(5): 68–70, 75.
- [16] 穆树旗, 李万鑫, 王晓妮, 等. 一种油炸花生仁的加工方法: CN11480826A[P]. 2020–08–04[2021–03–31].
MU S Q, LI W X, WANG X N, et al. A processing method of fried peanut kernel: CN11480826A [P]. 2020–08–04[2021–03–31].
- [17] 鲁耀彬, 王海滨, 何旭东, 等. 低钠盐多味花生的质构特性与感官评价相关性分析[J]. *武汉轻工大学学报*, 2014, 33(2): 8–12, 25.
LU Y B, WANG H B, HE X D, et al. Correlation analysis of texture characteristics and sensory evaluation of low sodium salt multi flavor peanut[J]. *Journal of Wuhan University of Light Industry*, 2014, 33(2): 8–12, 25.
- [18] 张婷, 赵丹, 邹淑萍, 等. 新型酥皮切糕的研制及其质构分析[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(21): 151–155, 163.
ZHANG T, ZHAO D, ZOU S P, et al. The development and texture analysis of new type pastry[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2020, 41(21): 151–155, 163.
- [19] 迟延娜. 花生水相提油工艺中乳状液性质及其破除研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
CHI Y N. Study on the properties and dissolution of emulsion in the process of water phase oil extraction from peanut[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [20] 殷冬梅, 宋佳静, 张幸果, 等. 花生种子在不同发育时期的显微结构分析[J]. *核农学报*, 2013, 27(3): 344–349.
YIN D M, SONG J J, ZHANG X G, et al. Microstructure of peanut seeds at different developmental stages [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, 27(3): 344–349.

Effects of Frying Process on Quality and Microstructure of High Oleic Acid Peanut

Cao Xiaoyu^{1,2}, Zhao Gengjiu², Zhang Huili¹, Liu Xiaoguang³, Wang Qiang², Liu Hongzhi^{2*}

¹College of Light Industry, Liaoning University, Shenyang 110036

²Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193

³Tangshan Research Institute of Agricultural Science, Tangshan 063001, Hebei)

Abstract The effects of plant oil, frying temperature and frying time on sensory quality and texture characteristics of fried peanut were studied. The changes of microstructure of peanut before and after frying were observed by confocal laser scanning microscope (CLSM) and scanning electron microscope (SEM). The results showed that the best frying conditions were as follows: palm oil, frying temperature 140 °C, frying time 8 min. Under these conditions, the color of fried peanut was uniform, the taste was sweet, the taste was crisp, the hardness was 7.30 kg, the brittleness was 0.27 mm, the sensory score was 48.9, the moisture content was 0.87 g/100 g, the acid value was 1.20 g/100 g, and the peroxide value was 0.09 g/100 g. The results of scanning electron microscope and confocal laser scanning microscope were consistent. After frying, the cell wall of peanut was broken, the cytoplasm was lost, the pore structure appeared, the oil body increased and the protein body gathered.

Keywords fried peanuts; sensory quality; texture characteristics; microstructure