

水分含量对马铃薯淀粉凝胶体系脂肪吸收的影响

俞琳, 张婷婷, 丁占生, 范柳萍*

(江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:以马铃薯淀粉为原材料, 与水进行模拟, 在180 ℃条件下对马铃薯淀粉凝胶样品进行常压油炸, 研究油炸样品中总油脂含量, 以及各部分油脂含量的分布情况。结果表明: 随着水分含量的增加, 马铃薯淀粉凝胶体系油炸样品的总油脂含量、表面油脂含量和表面渗透油脂含量呈逐渐增加的趋势。随着油炸时间的延长, 马铃薯淀粉凝胶体系油炸样品的总油脂含量和组织结构油脂含量呈逐渐增加的趋势, 表面渗透油脂含量呈逐渐降低的趋势。随着水分含量的增加, 表面渗透油脂含量在油炸样品总油脂含量中占据最大部分, 其次是组织结构油脂含量, 最少的是表面油脂含量。不同部分油脂含量的变化呈现一定的规律性, 但变化幅度有一定的差异。

关键词: 马铃薯淀粉凝胶体系; 油脂含量; 表面油脂; 表面渗透油脂; 组织结构油脂

Effects of Moisture Content on Oil Absorption Capacity of Potato Starch Gel System

YU Lin, ZHANG Tingting, DING Zhansheng, FAN Liuping*

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Potato starch gel samples made from potato starch and water were fried at 180 ℃ under atmospheric pressure, and total oil content and oil distribution of the fried samples were analyzed. The results showed that the contents of total oil, surface oil and penetrated surface oil of fried potato starch gels increased with increasing moisture content. The contents of total oil and structural oil increased as the frying time was extended. However, penetrated surface oil content decreased with increasing frying time. Penetrated surface oil constituted the largest portion of the total oil content, followed by structural oil, and surface oil was the smallest portion of the oil in fried potato starch gel samples. The contents of different oil fractions displayed a certain trend, but varied differently during the frying process under atmospheric pressure.

Key words: potato starchgel system; oil content; surface oil; penetrated surface oil; structural oil

中图分类号: TS261.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 13-0007-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201513002

常压油炸是一种普遍的加工方式, 油炸类食品因其独特的口感和香味, 受到国内外消费者的青睐, 同时人们追求健康以及高品质的食品^[1-2], 然而常压油炸食品含油率高达30%以上^[3-6], 给人们的健康带来了隐患。因此, 降低油炸食品含油率成为了人们关注的重点^[7]。

水分含量影响物料的结构, 从而影响油炸样品的含油率, 物料初始水分较高则油炸后的含油率也较高^[8]; 同时, 随着油炸时间的延长, 马铃薯片的水分含量降低, 含油率升高^[9]。陆启玉等^[10]的研究表明, 马铃薯片含油主要有两部分组成, 一是表面吸附油脂, 二是渗透到物料中的油脂。苏宗桃等^[11]研究表明表面吸附油脂多与马铃薯片的结构有关。Bouchon等^[12]对马铃薯含油进行了更详细的划分, 油脂在物料中大致有以下3种分布方式: 组织结构油脂, 即被吸入食品结构中的那部分油脂; 表面渗

透油脂, 即冷却过程中渗透进入食品的那部分油脂; 表面油脂, 即黏附在食品表面而没有渗透进入食品内部的那部分油脂。油炸是一个热量和质量传递的复杂过程^[13-16], 伴随着物料组织软化、水分含量降低、含油率提高^[17]、物料表面收缩等现象^[18], 在这个过程中食品水分含量从80%下降至2%, 而含油率却升高至47%以上^[18-19], 油脂作为热量传递介质, 不断进入物料内部^[20]。油炸食品中大部分的油脂是在冷却过程中进入的, 占到总含油率的64%以上^[21]。大多数学者认为, 油炸食品冷却阶段的吸油机制主要为由于温度降低引起物料表面孔洞的内部水蒸气压力变小, 而导致了内外压差, 使得油脂被吸入到壳层的冷凝吸油机制和小孔洞发生毛细虹吸现象, 将表面附着的油脂吸入到孔内的毛细管吸油机制^[11]。两种吸油机制只与物料的表面壳层有关, 为了排除其他因素对吸油

收稿日期: 2014-09-04

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31371812); 江苏省自然科学基金项目 (BK20131104)

作者简介: 俞琳 (1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: happyyulin@126.com

*通信作者: 范柳萍 (1972—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品科学。E-mail: fanliuping@jiangnan.edu.cn

产生的影响, 本实验试图通过马铃薯淀粉和水模拟成马铃薯淀粉凝胶体系进行油炸, 探究油炸过程中凝胶体系中各部分油脂的分布情况, 以及物料中水分含量对其分布产生的影响。因此, 本实验中, 凝胶体系样品仅进行了油炸以后贮存, 并未进行其他处理。以此凝胶体系为基础, 为进一步研究如何降低油炸马铃薯片含油率、油炸食品吸油过程的机制以及食品安全提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马铃薯淀粉 无锡市天之源食品有限公司。

起酥油 嘉里特种油脂(上海)有限公司; 苏丹红 I、石油醚(沸程30~60℃)均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

SOX406脂肪测定仪 济南海能仪器股份有限公司; 伊莱克斯BCD-223冰箱 伊莱克斯(中国)电器有限公司; 真空干燥箱 上海跃进医疗器械厂; FA1004电子天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; UV2600分光光度计 上海天美科学仪器有限公司; 恒温油浴锅 金坛市精达仪器制造厂; 恒温水浴锅 郑州长城科工贸有限公司; 油炸篮 金坛市精达仪器制造厂。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

根据表1中马铃薯淀粉体系水分含量称取马铃薯淀粉, 与水在烧杯中搅拌均匀, 98℃水浴^[22]中加热, 控制厚度为3 mm, 待体系透明后取出, 室温冷却1 h, 然后放入4℃冰箱冷藏过夜, 取出冷藏过夜的体系, 用自制磨具制取直径为22 mm的圆片样品, 备用。

表1 马铃薯淀粉体系样品制备
Table 1 Sample preparation of potato starch gel systems

体系水分含量/%	60	70	80	90
马铃薯淀粉/g	24	18	10	5
水/g	36	42	40	45

注: 表中用大致的水分含量来表示体系, 如60%体系表示最终样品体系的水分含量为60%左右, 最终水分含量以测量为准。

1.3.2 油炸实验

将1 g苏丹红 I 溶于1 000 mL的起酥油中, 在60℃条件下旋转加热4 h直到其完全溶解, 冷却至室温, 备用。分光光度计波长扫描测定条件为扫描范围400~500 nm, 扫描速率为600 nm/min, 1 nm间隔采样。利用分光光度计制作吸光度一起酥油中苏丹红 I 溶液标准曲线。

在1 000 mL的烧杯中加入400 mL起酥油, 放置于恒温油浴锅中, 设置油炸温度为180℃^[23], 预加热2 h, 使得烧杯中的起酥油温度稳定在恒温油浴锅指定温度。

4个体系样品的油炸实验终点通过油炸样品最终水分含量来控制, 其水分含量应低于2.25% (以湿基计)。每次实验选用厚度约为3 mm的样品5.8 g, 放入备好的烧杯中进行油炸, 油炸时间控制为10、20、30 min。在油炸结束前20 s时, 向其中加入已预热到与起酥油相同温度的染色油 (该过程不超过10 s), 搅拌均匀。取出物料, 常温下沥油10 min。用分析天平称质量。

1.3.3 马铃薯淀粉体系样品水分测定

根据GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》方法测定。

1.3.4 油炸样品中油脂含量的测定

马铃薯淀粉体系样品油炸后各部分油脂含量通过Bouchon等^[12]提供的方法来确定, 略有改动。

1.3.4.1 表面油脂测定

将样品室温下浸入40 mL的石油醚1 s即拿出, 用脂肪测定仪蒸发溶剂, 再放在真空干燥箱中干燥至恒质量, 即为表面油脂。

1.3.4.2 组织结构油脂与表面渗透油脂测定

将去除了表面油脂的样品进行切分, 并在真空干燥箱中50℃干燥12 h, 取出干燥的固体样品, 剪碎, 称质量, 转移至脂肪测定仪抽提支架中, 抽提杯中准备50 mL的石油醚。用脂肪测定仪进行油脂的提取, 浸提0.5 h, 抽提4 h, 然后蒸发溶剂, 再放在真空干燥箱中干燥至恒质量, 称质量, 记为 m 。

将所得的油脂稀释10倍, 测其在459 nm波长处的吸光度, 根据标准曲线得其浓度为 c , 则未稀释之前的浓度为 $10c$ 。

根据苏丹红 I 质量守恒, 可通过下式求得被染色部分的油脂含量 (即表面渗透油脂), 这部分油脂主要是油在油炸样品冷却过程中渗透进入样品结构中而来的。

$$\text{表面渗透油脂含量/\%} = \frac{m \times 10c / \text{油炸时苏丹红 I 浓度}}{\text{油炸样品干基质量/g}} \times 100 \quad (1)$$

另一部分未被染色的油脂含量 (即组织结构油脂) 通过下式来求得:

$$\text{组织结构油脂含量/\%} = \frac{m - \text{表面渗透油脂含量/g}}{\text{油炸样品干基质量/g}} \times 100 \quad (2)$$

1.4 数据分析

所有测定均重复3次, 利用Origin 8.5数据处理软件和Excel进行数据分析, 利用SPSS 17.0数据处理软件的最小显著差 (least significant difference, LSD) 法对实验结果进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 马铃薯淀粉体系样品水分含量

马铃薯淀粉本身含有一定量的水分, 在实验过程中由于加入水的量是与淀粉的量进行调试配比的, 故最终

的体系水分含量须进行测定。其测定结果以及样品油炸10、20、30 min后体系中的水分含量如表2所示, 样品油炸10 min后的水分含量显著高于其他两个时间点 ($P<0.05$)。

表2 马铃薯淀粉体系样品水分含量
Table 2 Moisture contents in potato starch gel products

体系水分含量/%	60	70	80	90
实际水分含量/%	63.03±0.19	70.90±0.66	79.70±0.39	90.20±0.10
油炸10 min后水分含量/%	2.25±0.15	6.84±0.84	7.27±0.80	2.31±0.47
油炸20 min后水分含量/%	0.57±0.36	1.63±0.16	2.05±0.20	1.40±0.12
油炸30 min后水分含量/%	0.88±0.14	1.94±0.10	2.25±0.16	2.08±0.41

注: 表中数据均是以样品湿基计。

2.2 苏丹红 I 溶液波长扫描曲线及标准曲线

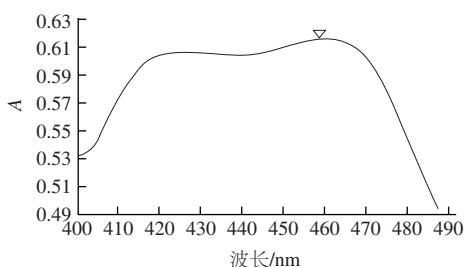


图1 苏丹红 I 溶液波长扫描曲线

Fig.1 Wavelength scanning curve of Sudan Red I solution

苏丹红 I 溶液波长扫描曲线如图1所示, 波长在400~500 nm区间内, 苏丹红 I 溶液有较强吸收, 其中在459 nm波长处有最大吸收, 故选择459 nm为实验测定波长。

由此得出, 苏丹红 I 溶液浓度与吸光度之间的标准曲线方程为 $y=46.816x+0.0316$, 相关系数 R^2 为0.9982, 表明拟合函数与实验数据较吻合, 可用于实验计算。

2.3 初始水分含量和油炸时间对油炸马铃薯淀粉体系总油脂含量的影响

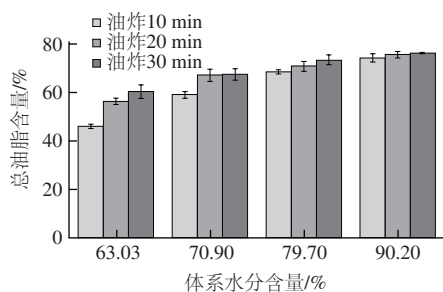


图2 马铃薯淀粉体系油炸最终样品总油脂含量

Fig.2 Content of total oil in final products fried at 180 °C

马铃薯淀粉体系油炸最终样品 (水分含量低于2.25%, 以湿基计) 中的总油脂含量如图2所示。随着马铃薯淀粉体系中水分含量的增加, 3个油炸时间点样品的总油脂含量有不同程度的升高趋势, 60%体系

的总油脂含量显著低于其他3个水分体系 ($P<0.05$)。这是由于在油炸过程中, 样品中的水分不断溢出而油不断进入, 水分溢出得越多, 其对应进入的油也会较多, 油炸样品中的总油脂含量与样品最初的水分含量有显著的关系, 降低水分含量, 能够显著减低成品中的含油率^[24]。随着油炸时间的增加, 4个水分体系的样品总油脂含量有不同程度的升高趋势, 其中油炸时间对60%和70%体系的影响均较大, 油炸10 min时的总油脂含量显著低于油炸20 min和30 min ($P<0.05$), 原因可能是由于油炸20 min和30 min的样品, 油炸时间较长, 样品内水分含量较低, 随着水分含量的降低, 样品中的总油脂含量不断增加, 这与于修焯等^[9]的结果一致; 而对于80%和90%的体系样品, 不同油炸时间之间差异不显著。原因可能是随着水分含量的增加, 油炸时间变化幅度较小, 对含油率的影响太小。

2.4 初始水分含量和油炸时间对油炸马铃薯淀粉体系不同油脂含量的影响

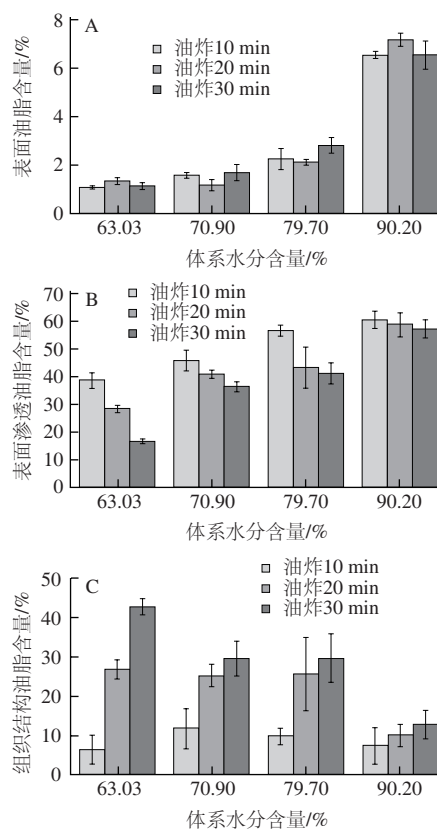


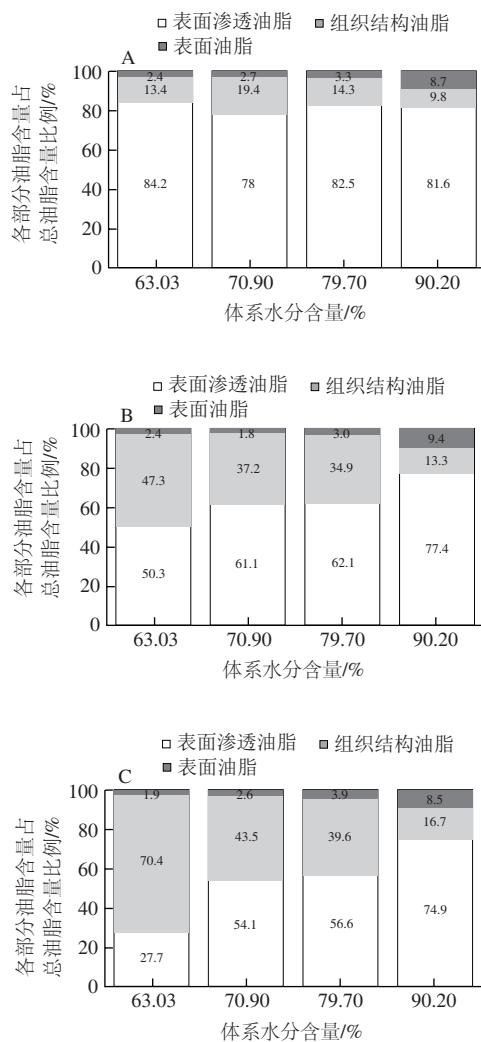
图3 初始水分含量和油炸时间对马铃薯淀粉体系各部分油脂含量的影响

Fig.3 Contents of surface oil, penetrated surface oil and structural oil in final products fried at 180 °C

马铃薯淀粉体系油炸最终样品 (水分含量低于2.25%, 以湿基计) 中的各部分油脂含量分布如图3所示。随着马铃薯淀粉体系中水分含量的增加, 4个水分体系样品的表面油脂含量有不同程度的升高趋势, 90%体

系的表面油脂含量显著高于其他3个体系 ($P<0.05$)；4个水分体系样品的表面渗透油脂含量也有不同程度的升高趋势，90%体系样品的表面渗透油脂含量显著高于60%体系 ($P<0.05$)；4个水分体系样品的组织结构油脂含量变化趋势不显著，油炸30 min时，90%体系的组织结构油脂含量显著高于60%体系 ($P<0.05$)。随着油炸时间的增加，3个油炸时间点样品的表面油脂含量的变化趋势无明显规律，不同油炸时间点的差异不大；3个油炸时间点样品的表面渗透油脂含量呈降低趋势，油炸时间仅对60%体系的表面渗透油脂含量有显著影响 ($P<0.05$)；3个油炸时间点样品的组织结构油脂含量呈升高趋势，油炸时间也仅对60%体系的组织结构油脂含量有显著影响 ($P<0.05$)。

2.5 初始水分含量和油炸时间对马铃薯淀粉体系油脂分布的影响



A~C分别为油炸时间10、20、30 min。

图4 初始水分含量和油炸时间对马铃薯淀粉体系油脂分布的影响

Fig.4 The distribution of surface oil, penetrated surface oil and structural oil in final products fried at 180 °C

由图4可知，对于70%、80%、90%马铃薯淀粉体系油炸样品来说，无论油炸时间是10、20、30 min，表面渗透油脂含量在油炸样品总油脂含量中始终占最大部分，其次是组织结构油脂含量，最少的是表面油脂含量。而60%马铃薯淀粉体系油炸样品，只在油炸10 min时，表面渗透油脂含量占最大部分，油炸时间为20 min时，其表面渗透油脂和组织结构油脂含量相差无几，分别为50.3%和47.3%；油炸时间为30 min时，其组织结构油脂含量在油炸样品油脂含量中占最大部分，为70.4%，这与 Pedreschi等^[25]关于马铃薯片的研究不一致，这也是由于马铃薯淀粉体系与马铃薯片本身存在的区别。因为马铃薯的平均水分含量为77%^[25]，与实验中的60%体系的水分含量有一定的差距，马铃薯片还存在其他大分子物质，如蛋白质、脂肪和粗纤维等^[26]，这些大分子物质可能会对油炸过程中脂肪的吸收及其分布产生一定的影响。

3 结论

本实验中，随着马铃薯淀粉体系水分含量的增加，3个时间点油炸样品的总油脂含量、表面油脂含量和表面渗透油脂含量均呈逐渐增加的趋势，组织结构油脂含量的变化趋势不显著。其中，60%体系的总油脂含量显著低于其他3个体系 ($P<0.05$)；90%体系的表面油脂含量显著高于其他3个水分体系 ($P<0.05$)；90%体系样品的表面渗透油脂含量显著高于60%体系 ($P<0.05$)。随着油炸时间的增加，4个水分体系的样品总油脂含量和组织结构油脂含量有不同程度的升高趋势，表面渗透油脂含量呈逐渐降低趋势，表面油脂含量变化趋势不显著。其中，油炸时间对60%和70%体系的总油脂含量影响均较大，油炸10 min时的总油脂含量显著低于油炸20 min和30 min ($P<0.05$)；油炸时间对60%体系的表面渗透油脂含量和组织结构油脂含量有显著影响 ($P<0.05$)。

随着水分含量的增加，表面渗透油脂含量均在油炸样品总油脂含量中占据最大部分，其次是组织结构渗透油脂含量，最少的是表面油脂含量。而60%马铃薯淀粉体系样品，油炸10 min时的趋势与上述一致；油炸时间为20 min时，其表面渗透油脂和组织结构油脂含量相差无几；油炸时间为30 min时，其组织结构油脂含量在油炸样品油脂含量中占最大部分。而马铃薯的水分含量大致为77%，且马铃薯中含有蛋白质、脂肪和粗纤维等生物大分子物质^[26]，因此，以此实验结果作为参考，在以后的研究中，应对马铃薯片或者马铃薯条的油炸进行深入研究，为以后马铃薯油炸油脂含量的减少及食品安全提供参考。

参考文献:

- [1] TRONCOSO E, PEDRESCHI F. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(6): 1164-1173.
- [2] GRANDA C, MOREIRA R G, TICHY S E. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(8): E405-E411.
- [3] MELLEMA M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods[J]. Trends in Food Science and Technology, 2003, 14(9): 364-373.
- [4] 潘牧, 陈超, 邓宽平, 等. 低温真空油炸薯片生产工艺及其贮藏条件的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 207-210.
- [5] 陈业, 高琳. 油炸马铃薯片降油工艺的研究[J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2012, 30(3): 327-329.
- [6] 刘婷婷, 谭兴和, 邓洁红, 等. 正交试验优化马铃薯片真空低温油炸工艺[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 11-16.
- [7] MOREIRA R G, BARRUFET M A. A new approach to describe oil absorption in fried foods: a simulation study[J]. Journal of Food Engineering, 1998, 35(1): 1-22.
- [8] 刘婷婷, 谭兴和, 邓洁红, 等. 马铃薯片常压油炸工艺优化研究[J]. 食品科技, 2012, 37(3): 117-121.
- [9] 于修焯, 宋丽娟, 张建新, 等. 薯片在油炸过程中品质变化及其货架期预测[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 102-107.
- [10] 陆启玉, 王显伦. 降低油炸方便面含油量的研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1993, 16(4): 19-22.
- [11] 苏宗桃, 何定兵, 徐斐, 等. 油炸食品吸油过程的机制分析[J]. 食品工业科技, 2010, 31(5): 157-159; 163.
- [12] BOUCHON P B, AGUILERA J M, PYLE D L. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(9): 2711-2716.
- [13] FARKAS B E, SINGH R P, RUMSEY T R. Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I. model development[J]. Journal of Food Engineering, 1996, 29(2): 211-226.
- [14] YAMSAENG SUNG R, MOREIRA R G. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying: Part I: model development[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53(1): 1-10.
- [15] VITRAC O, DUFOUR D, TRYSTRAM G, et al. Characterization of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53(2): 161-176.
- [16] ROSSI M, ALAMPRESE C, RATTI S, et al. Suitability of contact angle measurement as an index of overall oil degradation and oil uptake during frying[J]. Food Chemistry, 2009, 112(2): 448-453.
- [17] MOYANO P C, BERNAL A Z. Modeling water loss during frying of potato strips: effect of solute impregnation[J]. Drying Technology, 2002, 20(7): 1303-1318.
- [18] PATTERSON S P, PHILLIPS R D, MCWATTERS K H, et al. Fat reduction affects quality of akara (fried cowpea paste)[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2004, 39(6): 681-689.
- [19] 何定兵, 徐斐, 华泽钊, 等. 降低油炸土豆制品吸油率方法与机理研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 278-281.
- [20] MANJUNATHA S S, RAVI N, NEGI P S, et al. Kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of Gethi (*Dioscorea kamoensis* Kunth) strips[J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 51(11): 1-11.
- [21] AGUILERA J M, GLORIA-HERNANDEZ H. Oil absorption during frying of frozen parfried potatoes[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(3): 476-479.
- [22] ROVEDO C O, ZORRILLA S E, SINGH R. Moisture migration in a potato starch patty during post-frying period[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1999, 23(5): 407-420.
- [23] 伍雨江, 谭兴和, 邓洁红, 等. 抑制常压油炸薯片用油氧化的研究[J]. 农业机械, 2011(2): 66-69.
- [24] 谢国芳, 刘晓燕, 王瑞, 等. 加工工艺对油炸马铃薯片品质的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(7): 1651-1654.
- [25] PEDRESCHI F, COCIO C, MOYANO P, et al. Oil distribution in potato slices during frying[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 87(2): 200-212.
- [26] 王娟, 马海乐, 潘忠礼, 等. 低油马铃薯片的加工技术研究进展[J]. 食品工业, 2014, 35(4): 136-139.