

# 真空法降低油炸制品含油量

何定兵, 徐 斐, 华泽钊\*, 陆青松

(上海理工大学 低温生物与食品冷冻研究所, 上海 200093)

**摘 要:** 以圆柱形土豆条为研究对象, 对油炸和冷却过程中样品表面和内部温度、水蒸气压力以及不同阶段吸油量变化规律进行测量与分析, 发现油炸过程中由于水蒸气持续从多孔壳层逸出, 阻碍了油进入食品中, 土豆样品中 70% 左右油是在冷却阶段进入食品壳层中的, 而且导致吸油的动力——蒸汽冷凝形成的壳层内外压差对环境气压很敏感。在油炸样品冷却阶段, 将油炸土豆条置于不同真空环境进行冷却, 发现绝对压力 80kPa 的条件下冷却时, 总吸油率从 40% 降至 13.6%, 说明冷却过程的真空条件能降低壳层内、外压差驱动力, 有效促进表面附着油滴落, 阻碍其被吸入食品结构中, 从而降低油含量。

**关键词:** 真空法; 吸油率; 油炸食品; 低油食品

## Reduction of Oil Uptake in Deep Fried Products by Vacuum Method

HE Ding-bing, XU Fei, HUA Ze-zhao\*, LU Qing-song

(Institute of Cryobiology and Food Freezing Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Surface and internal temperatures, water vapor pressure and oil adsorption rate changes in different stages were measured during the deep-frying and cooling processes of cylindrical potato strips. It was found that continuous water vapor escape from the porous shell layer could prevent oil from entering potato strips during the deep-frying process. During the cooling process, over 70% of oil was absorbed into the porous shell layer, providing an impetus for oil absorption — The difference in water vapor pressure between the inside and outside of the shell layer was very sensitive to ambient pressure. Cooling of fried potato strips was studied in different vacuum environments. The results obtained showed that under an absolute pressure of 80 kPa, the total oil absorption rate was decreased from 40% to 13.6%, suggesting that vacuum environments could reduce the water vapor pressure difference between the inside and outside of the shell layer, effectively promote the detachment of adherent oil droplets from the surface, impeding their absorption into the structure of fried potato strips and therefore reducing oil uptake.

**Key words:** vacuum method; oil absorption rate; fried food; low oil food

中图分类号: TS205.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)08-0104-05

深层油炸是指将食品物料置于沸点较高的食用油液面以下的一种传统的食品加工工艺。该加工方法使食品的内部和表面的微观结构产生显著的变化, 赋予食品特殊的香味, 受到消费者的普遍喜爱。油炸过程中食品水分从 80% 下降到 2%, 而油含量却升高至 47%<sup>[1-2]</sup>。其带来的高热值普遍被认为是肥胖和心血管疾病的主要原因之一, 与目前消费者对健康食品以及低脂食品的消费趋势相矛盾<sup>[3]</sup>。因此, 油炸食品中的含油量已经是食品品质评判的一个重要标准。

油炸食品中的油大致可以分两种: 1) 组织结构油 (structural oil content, SOC), 即被吸入食品结构中的那部分油; 2) 表面浮油 (surface oil content, SUOC)<sup>[2]</sup>,

即粘附在食品表面的那部分油。组织结构中的油主要存在于食品表面很薄的一个区域——壳层<sup>[2,4]</sup>, 大部分是在冷却过程中进入到食品结构中的, 占到总油量的 64% 以上<sup>[1-2,5]</sup>。这是由于在冷却过程中, 食品中水蒸气开始冷凝, 大气压开始大于孔隙中的水蒸气的压力, 表面附着油由于外界压力与含湿层水蒸气压之间压差或毛细管作用进入食品的多孔缝隙间<sup>[6]</sup>。

目前关于降低油炸食品含油量的技术路线大致有下面 3 种途径: 1) 预处理: 对土豆进行初步干燥, 或表面被覆一层高分子多糖 (如甲基纤维素、黄原胶等) 或较厚的淀粉, 通过增强食品表面的强度和韧性, 改变油的传质过程, 从而减少进入食品结构含油量<sup>[7-9]</sup>。但是

收稿日期: 2011-03-29

作者简介: 何定兵 (1981—), 男, 博士研究生, 研究方向为生物热科学技术。E-mail: hedben200077@163.com

\* 通信作者: 华泽钊 (1938—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为生物系统热科学。E-mail: tchua@sh163.net

该方法是在油炸之前对土豆进行预处理, 工艺复杂且成本较高, 且在降低含油量的同时往往会改变了食品原来口感; 2) 油炸工艺: 通过降低油炸过程的压力即真空油炸, 降低油和水的沸点, 赋予了食品更好的营养品质<sup>[10]</sup>, 或是通过改变油的黏度和表面张力来降低油对壳层中多孔结构浸润性而降低含油量<sup>[11]</sup>, 不过效果并不显著; 3) 冷却过程处理: 在油炸设备上装配一个离心装置, 使得油炸食品冷却过程经过一个离心处理, 此方法具有显著降低油炸吸油率的效果<sup>[12]</sup>, 还有方法是油炸结束后对冷却过程的压力释放过程进行程序控制, 实验表明也具有显著的降低含油量的效果<sup>[10]</sup>。

比较上述多种降低含油量的方法和原理, 从冷却过程着手降低油炸食品油含量更加有效而且成本低, 且逐步成为研究的重点。本实验应用真空方法对油炸制品冷却过程进行处理, 考察不同真空条件降低油炸土豆制品油含量的作用, 并通过研究油炸土豆制品的温度变化规律以及吸油动态变化规律, 分析油炸和冷却过程中壳层内水蒸气和油的迁移特点。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

土豆选择荷兰土豆品种(上海); 大豆植物油(福临门)中粮集团有限公司; 正己烷(分析纯) 德国 Meker 公司。

### 1.2 仪器与设备

电磁炉 美的电气有限公司(广州); KTSS-18G-12 型热电偶 美国 Omega 公司; 真空箱 自制; Ns-B 型压力传感器 上海天沐自动化仪表有限公司; 1410-2E 型真空烘箱 美国 Shel Lab 公司; GA110 型分析天平 美国 Ohaus 公司。

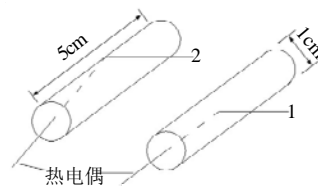
### 1.3 方法

#### 1.3.1 油炸工艺

土豆湿度为 80% 左右, 存储于 4℃ 保鲜, 使用前放置于 25℃ 环境 24h。用内径 1.0cm 圆柱形刀具制得相同长度(5.0cm)和直径(1.0cm)的圆柱形土豆条, 随后将土豆条浸没于冰水中以去除表面的淀粉<sup>[13]</sup>。从水中取出后, 表面残留的水分甩干后再用吸水纸擦干。最后, 将土豆条由两层湿巾包裹防止脱水, 准确称取质量并选择质量相近的土豆条备用, 以保证样品以及油炸后相关参数比较准确性。用电磁炉将油炸温度控制在 $(170 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ , 在油炸前预热并稳定 2h<sup>[14]</sup>。需要适当的搅拌以保证油温的均一性, 而防止热电偶固定在一个位置导致温度测量不准。在油炸过程中, 土豆投入油中开始计时, 并用网罩将土豆置于液面以下, 计时 240s, 用镊子取出土豆条, 于不同压力下室温冷却。在油炸和冷却过程中外界的环境温度维持在 $(25 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 。

#### 1.3.2 温度测量

用热电偶分别测量土豆表面和几何中心位置的温度。热电偶由横截面倾斜着插入, 至能隐约看见热电偶端部为止(距离表面不足 0.5mm)即测量样品表面的温度。土豆的几何中心的温度的测量是将热电偶沿着横截面的中心垂直插入土豆, 插入的长度要长于 3 倍的土豆横截面的直径。具体位置如图 1 所示:



在 1 点测量土豆内部温度; 在 2 点测量土豆外表面温度。

图 1 测量圆柱形土豆条温度的热电偶位置示意图

Fig.1 Diagram of thermocouple location within potato cylinder

#### 1.4 分析方法

土豆湿度的测定是将土豆放置于真空烘箱中 70℃ 干燥 24h, 直至物料质量不再降低, 物料前、后质量之差除以干燥前湿质量, 即计算出土豆湿度。

表面油含量(SUOC)测定, 油炸完成后将样品迅速浸没于盛有 20℃、200mL 正己烷的 250mL 烧杯中, 10s 后取出, 然后用蒸馏装置回收正己烷, 并进行干燥, 用分析天平称量烧杯前、后质量之差即为正己烷中溶解油炸食品表面油含量, 相同的测试重复 10 遍。

组织结构油含量(SOC)的测定, 先依据上述方法用正己烷先将油炸制品表面浮油除掉, 将样品破碎后用索氏抽提法<sup>[15]</sup>萃取油炸食品的结构油成分。

总吸油率(total oil content, TOC)是指在油炸或冷却中某时刻组织结构中油和表面油含量的总和<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 真空法对油炸土豆条吸油率变化的影响

以圆柱形土豆条为对象, 将样品于 170℃ 大豆油中深层油炸。通过使蛋白变性或淀粉糊化, 高温迅速破坏了土豆物料表面结构的完整性, 当土豆温度升高至水的沸点, 过热的水蒸气从细胞之间被破坏的脆弱部位形成细小通道溢出物料, 一点点形成了壳层。该壳层经过高温对蛋白质、淀粉等大分子固化, 逐渐形成了一个稳定的多孔介质结构, 随着油炸时间延长, 水蒸气不断溢出, 壳层与含湿层之间界面不断向中心移动。

油炸时间到 240s 时, 迅速取出土豆条并置于一个封闭箱体中冷却, 将箱体控制在不同的压力下, 考察

吸油率的变化规律,结果如图2所示。随着冷却箱体压力的降低,总吸油率从常压冷却条件下的37.5%降至不同真空环境冷却条件下的19.3%~13.6%,有显著下降趋势。当箱体压力控制在80kPa时得到的吸油率最低为13.6%,然而,随着压力的进一步下降,吸油率反而有上升的趋势。上述结果同样说明冷却过程对含油量多少起到关键作用,而真空法降低总吸油率效果明显。随着冷却过程真空度增加,吸油率先下降后反而又增加的原因,需要进一步分析油炸和冷却过程的吸油机理。

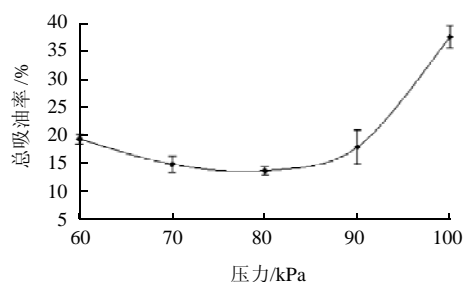
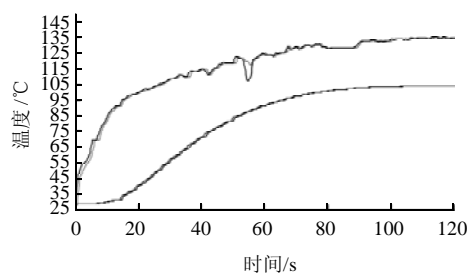


图2 不同冷却条件下总吸油率的变化特征

Fig.2 Total oil content in fried potato under different cooling conditions

## 2.2 油炸过程中土豆条吸油率变化和传热分析



油温 170℃, 图中上面 3 条线和下面 3 条线分别为 3 次平行试验的表面温度曲线和内部温度曲线。

图3 圆形土豆条油炸过程内部和表面的温度测量曲线

Fig.3 Changes in internal and surface temperatures during deep-frying

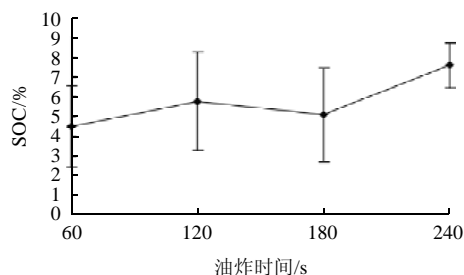


图4 土豆条在油炸过程的结构吸油率变化

Fig.4 Change in structural oil content during deep-frying

按照图1所示位置点测定土豆条内部及表面温度,图3为长度50mm土豆条在170℃油炸4min过程中的内部和表面温度变化曲线。在物料投入油锅15s内温度升至100℃,接着60s内缓慢升至150℃,进入一个较稳定的阶段。研究表明<sup>[5-6,13]</sup>在模拟油炸过程传热过程的表面和内部温度曲线时,往往设定土豆表面传热临界温度为油的温度,而本实验热电偶测得近似稳态的表面温度与油的温度存在约20℃的温差。原因可能是由于有一部分热量供水分沸腾,汽化的过热蒸汽形成的无数个气泡在物料与油之间形成了一个热阻层,致使物料表面由于水蒸气和油相接触存在一定流动阻力。正是这个原因使得油无法直接接触土豆的多孔表面壳层,因此在油炸的过程中,土豆条的吸油量很低。如图4所示,在油炸过程中,油炸土豆条组织结构吸油量(SOC)变化不大,从4.5%较为缓慢地增加到7.6%,正是持续溢出的大量蒸汽阻碍了油进入壳层多孔结构中,食品结构中的油含量随着油炸时间的增加变化并不大。

## 2.3 冷却过程土豆条吸油率变化和传热传质分析

当油炸结束时,样品从油相取出,肉眼可以观察到表面会粘附着一油层膜,该油膜在不到60s的时间内便会像“海绵”吸水一样被吸入食品壳层结构中。在常压自然条件下,考察壳层中吸油量随冷却时间的变化动力过程如图5所示,在冷却过程的前60s内,测得样品壳层结构油含量增加很迅速,从7.6%快速增加到22%,60s以后样品油含量增加很缓慢,600s后壳层含油量达到稳定状态26.3%左右(此数据图中未显示),占到油炸制品总吸油量的70%。

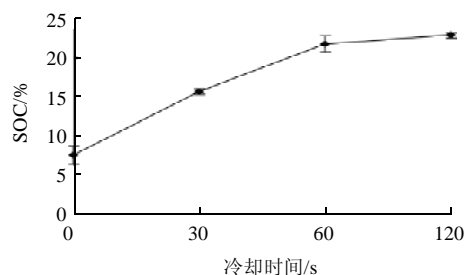


图5 自然冷却过程壳层结构吸油率变化特征

Fig.5 Change in structural oil content during cooling under natural conditions

目前,关于冷却过程吸油机理的描述一般有两种,水蒸汽冷凝机制和毛细作用吸油机制。油炸阶段在土豆壳层上形成了无数个细小的孔隙,甚至是肉眼可见的孔隙,这些多孔空间充满着水汽化产生的水蒸气。在冷却过程中,孔隙内水蒸气被冷凝,当内部压强 $P_v$ (饱和压力)低于环境压强 $P_{atm}$ 时,表面油膜会在内、外压差驱动下进入孔隙内;另外,由于多孔孔隙较小,从微

米到几百微米均有分布<sup>[13,17]</sup>,因此,毛细作用对吸油过程也有一定的作用。但一般认为,毛细作用形成吸油作用很小可以忽略<sup>[18]</sup>,因此,本实验主要分析冷却过程形成的压差导致的吸油过程。

如图6、7中曲线1和2所示,在冷却过程中油炸土豆表面温度迅速下降,内部温度逐渐下降,两者在冷却20.9s处有一个交点;图7中曲线3、4分别指在冷却过程前60s内表面温度和内部温度及对应的水蒸气饱和压力,曲线5指样品外侧环境压力( $P_{atm}$ )。在表面和内部温度曲线形成交点之前,表面壳层仍然可以向含湿层提供热量,水蒸气持续溢出样品表面,即 $P_v > P_{atm}$ ;反之,物料外部压强大于含湿层表面蒸汽压强,即 $P_v < P_{atm}$ ,此时土豆壳层开始吸油,如图7中所示该时刻近似等于曲线1与曲线2相交的时刻。因此,可以取表面温度和内部温度相交的时刻作为开始吸油的时间。

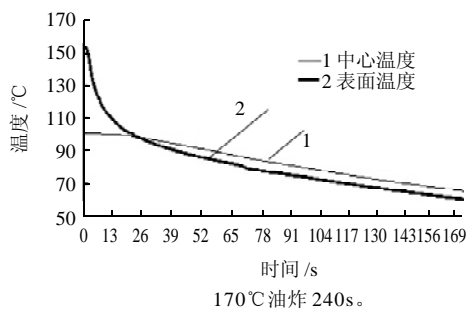


图6 圆形土豆条在自然冷却过程的中心和表面温度曲线

Fig.6 Changes in internal and surface temperatures during cooling under natural conditions

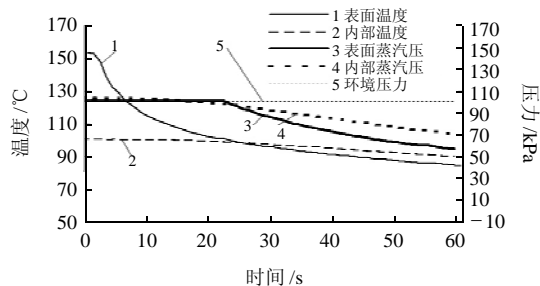


图7 自然冷却过程的温度变化以及壳层内、外气压曲线

Fig.7 Changes in temperature and water vapor pressure during cooling under natural conditions

如图5所示,冷却过程进行到30s时吸油速率最大,前60s冷却过程对最终吸油率起决定性作用。参照在图8中对自然冷却过程内部温度,以及对吸油起驱动作用的壳层内、外侧压差关系分析,将油炸物料冷却过程分别置于90、80、70、60kPa真空环境下进行,比较不同的真空环境下吸油开始时间以及冷却30s时物料内、外压差参数如表1所示。

表1 不同环境压力下吸油开始时间以及冷却30s壳层内、外压差参数

Table 1 Onset time of oil absorption under different ambient pressures and water vapor pressure differences between the inside and outside of the shell layer after 30 s of cooling

压力/kPa	吸油开始时间/s	内、外压差 $\Delta P^*/$ kPa	吸油率/%
101(自然冷却)	20.9	35.38	37.5 ± 0.02
90	16.5	15.96	17.81 ± 0.03
80	15.3	7.95	13.58 ± 0.01
70	11.6	16.93	14.75 ± 0.02
60	6.3	22.63	19.25 ± 0.01

注:  $\Delta P^* = P_{环境} - P_{内}$ ,  $P_{环境}$ 为冷却过程所处环境压力,  $P_{内}$ 指冷却过程含湿层蒸汽压。

由表1可知,相比自然常压冷却,真空环境强化了传热与传质过程,使吸油开始时间有不同程度缩短,不过90kPa和80kPa的真空环境下,时间缩短并不多,而当真空度进一步增加,则吸油开始时间缩短明显。比较冷却30s时刻起到吸油驱动作用的壳层内、外压差,可以发现物料外界气压均大于内部饱和蒸汽压力。然而,内、外压差随着冷却所处环境压力的下降从35.38kPa下降到7.95kPa,下降明显,而后随着环境压力进一步下降又增加到16.93kPa,再到22.63kPa,该变化规律与对应真空条件下测得的壳层结构吸油率变化趋势一致(图2)。在80kPa时内、外压差最小,表面附着油被吸入物料之前重力作用下能有效从表面滴落,因此,测得总吸油率最低。而随着绝对压力进一步降低,不但吸油开始的时间提前,而且内、外压差增大,所以,吸油率反而有增加的趋势。说明内、外压差与吸油率具有直接相关性,也再次证实了油炸物料冷却过程中水蒸气冷凝是物料吸油主要原因之一。

### 3 结论

将油炸圆形土豆条油炸结束后置于不同真空环境下冷却,结果发现将压力控制在80kPa的条件时,则可以将吸油率降低至13.6%。通过考察油炸和冷却过程土豆表面、内部温度的传热特性以及吸油率变化规律,分析发现冷却过程是影响吸油关键阶段。由冷凝过程形成内、外压差的吸油“驱动力”对最终吸油率起到决定作用的一个过程,吸油是一个表面壳层结构的传热、传质结果。真空法虽然缩短了吸油开始的时间,却降低了物料壳层内、外压差“驱动力”,促进表面附着油从物料表面滴落,从而具有降低吸油量的效果。实验结果表明当环境压力为80kPa时测得物料吸油率最低,平均值为13.6%,这说明在冷却阶段摸索合适的真空环境可以作为有效的降低油炸制品吸油率方法之一。

### 参考文献:

- [1] AGUILERA J M, GLORA-HEMANDE H. Oil absorption during frying

- of frozen par-fried potatoes[J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(3): 476-479.
- [2] BOUCHON P, AGUILERA J M, PYLE D L. Structure-oil absorption kinetics relationships during deep-fat frying[J]. *Journal of Food Science*, 2003, 68(9): 2711-2716.
- [3] BOUCHON P, PYLE D L. Studying oil absorption in restructured potato chips[J]. *Journal of Food Science*, 2004, 69(3): 115-122.
- [4] BOUCHON P, HOLLINS P, PERSON M, et al. Oil distribution in fried potatoes monitored by infrared microspectroscopy[J]. *Journal of Food Science*, 2001, 66(7): 918-923.
- [5] UFHEIL G, ESCHER F. Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slice[J]. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology*, 1996, 29(7): 640-644.
- [6] DANA D, SAGUY I S. Review: mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth[J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2006, 128-130: 2607-272.
- [7] MEHTA U, SWINBURN B. Review of factors affecting fat absorption in hot chips[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2001, 41(2): 133-154.
- [8] MOREIRA R G, PALAU J E, SUN X. Deep-fat frying of tortilla chips-an engineering approach[J]. *Food Technology*, 1995, 49(4): 146-150.
- [9] GENNADIOS A, HANNA M A, KURTH L B. Application of edible coatings on meat's poultry and sea foods: a review[J]. *Food Science and Technology- Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 1997, 30(4): 337-350.
- [10] JORGE M B, ROSA O, MARIA L S. Influence of the vacuum break conditions on oil uptake during potato post-frying cooling[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 95(3): 416-422.
- [11] BRINKMANN B. Quality criteria of industrial frying oil and fat's[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2000, 102(8/9): 539-541.
- [12] MOREIRA R, SILVA P, GOMES C. The effect of a de-oiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 92(3): 297-304.
- [13] BOUCHON P, PYLE D L. Modelling oil absorption during post-frying cooling. II :solution of the mathematical model, model testing and simulation[J]. *Trans IChemE, Part C, Food Bioproducts Processing*, 2005, 83(4): 261-272.
- [14] BLUMENTHAL M M. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying[J]. *Food Technology*, 1991, 45(2): 68-71.
- [15] BLIGH E G, DYER W A. A rapid method of total lipid extraction and purification[J]. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 1959, 39(8): 911-917.
- [16] MOREIRA R G, SUN X Z, CHEN Y H. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying[J]. *Journal of Food Engineering*, 1997, 31(4): 485-498.
- [17] HALDER A, DHALL A, DATTA A K. An improved, easily implementable, porous media based model for deep fat frying. Part I : model development and input parameters[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2007, 85(3): 209-219.
- [18] 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): 157-163.