

煎炸食物吸油机理探讨

齐金峰^{1,2}, 贾俊强¹, 王 俊¹, 金青哲², 王兴国²

(1. 江苏科技大学 中国农业科学院蚕业研究所, 江苏 镇江 212018; 2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:探讨了煎炸食物生产过程中的油脂吸收机理, 包括毛细管吸油机理、冷凝机理、表面活性剂理论及粘附理论等, 理解这些吸油机理, 有助于人们更好地控制煎炸食物的油脂吸收过程。

关键词:煎炸食物; 毛细管吸油机理; 冷凝机理; 表面活性剂理论; 粘附理论

中图分类号:TS221; TQ641 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2018)10-0032-04

Mechanism of oil uptake in fried foods

QI Jinfeng^{1,2}, JIA Junqiang¹, WANG Jun¹, JIN Qingzhe², WANG Xingguo²

(1. Sericultural Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212018, Jiangsu, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: The mechanism of oil uptake in fried foods was introduced, including capillary oil uptake mechanism, condensation mechanism, surfactant theory and adherence theory, etc. Understanding these theories was helpful to control oil absorption of fried foods.

Key words: fried food; capillary oil uptake mechanism; condensation mechanism; surfactant theory; adherence theory

油炸食物因具有酥脆特殊口感, 深受消费者喜爱。然而油炸食品含油量过高, 容易使人厌食, 经常食用还易引起高血压、高血脂等疾病^[1], 因此控制油炸食品含油量, 同时保留油炸食品原有的感官性质, 对于提高油炸食品品质、提升人们生活质量具有重要意义。

食物放入高温热油中, 表面水分首先受热蒸发, 而后热量传至食物内层, 内层水分受热形成蒸汽, 从壳内孔隙通道逸出。随着煎炸过程进行, 部分油脂附着在食物表面, 慢慢渗入水分蒸发后留下的食物内部孔隙。当食物从煎炸锅中取出时, 由于外界温度低于煎炸温度, 食物内部压力迅速降低, 油脂由外向内渗入, 致使食物吸油量增加。林俊虹等^[2]简要总结了煎炸食物的油脂吸收机理, 包括毛细管机理和冷凝机制, 并提出了一系列控油方法。本文全面

地阐述了煎炸食物油脂吸收机理, 包括毛细管吸油机理、冷凝机制、表面活性剂理论及粘附理论等。了解这些吸油机理, 有助于人们有针对性地控制煎炸食物的油脂吸收过程。

1 煎炸过程毛细管吸油机理

图1所示食物在深度煎炸过程中的横切面及横切面的扫描电镜图像。

由图1可以看出, 食物在深度煎炸过程中, 表面水分首先受热蒸发, 形成表皮, 而后热量传至内部, 内部水分受热蒸发形成孔隙, 进而引起内外毛细管压差。在毛细管压力下, 表面附着的油脂渗入食物内部, 发生煎炸食物油脂吸收现象(图1(左)), 由此形成疏松多孔结构(图1(右))。

图2为油脂流入孔隙图。由图2可以看出, 煎炸过程中, 食物内部产生的孔隙使其与外部油脂产生毛细管压力差, 进而发生油脂流入食物孔隙现象。

图2位置1处与2处之间的压力差为:

$$P_1 - P_2 = \frac{2\gamma\cos\theta}{r} \quad (1)$$

图2位置1处与3处之间的压力差为:

$$P_1 - P_3 = \frac{2\gamma\cos\theta}{r} - \rho gh \quad (2)$$

收稿日期: 2018-01-19; 修回日期: 2018-06-25

基金项目: 江苏省博士后基金(1601034A); 政策引导类计划(产学研合作)-前瞻性联合研究项目(BY2016022-33)

作者简介: 齐金峰(1984), 女, 助理研究员, 博士, 研究方向为油脂化学(E-mail) wsqq318@163.com。

式中: γ 为油脂表面张力; θ 为油脂与物料表面的接触角; g 为重力常数; h 为表面油层到孔隙的距离。
的接触角; r 为形成的孔隙半径; ρ 为油脂密度; g 为

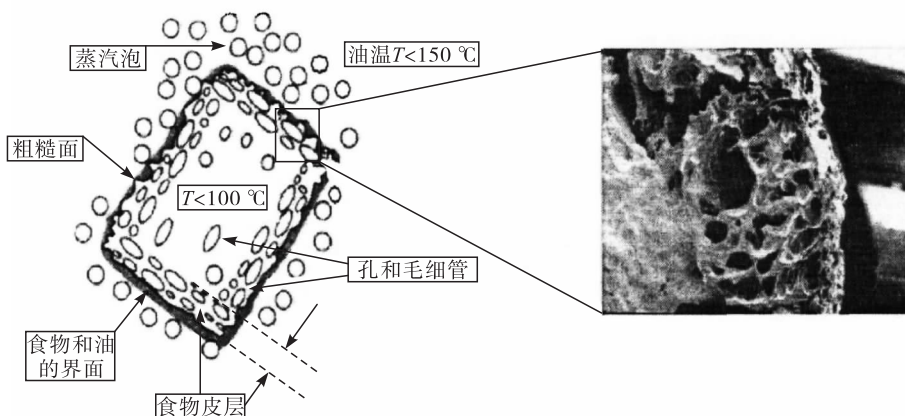


图1 深度煎炸过程中一片食物的图解横切面^[3] (左)及横切面的扫描电镜图像^[4] (右)

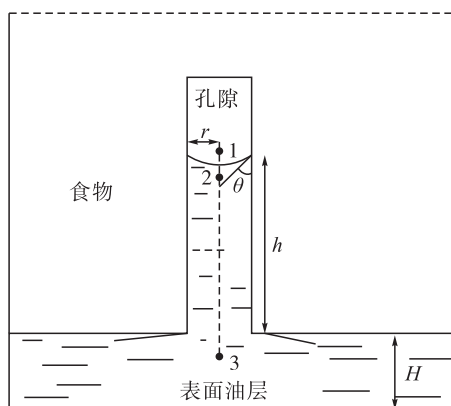


图2 油脂流入孔隙图^[5]

根据公式(1)和(2),煎炸过程油脂吸收取决于孔隙半径、油脂的表面张力及油脂与物料表面的接触角。小的孔隙带来较高的毛细管压力和较高的油脂含量^[6];油脂与物料表面的接触角越小,粘附力和油脂吸收越高;此外,油脂的表面张力越大,油脂吸收越高。油脂表面张力随着温度增加而降低,温度升高带来毛细管压力的降低^[7]。

如果满足油脂的渗入条件,油脂吸收将以某一速率(v)发生,这取决于油脂黏度(η)^[8]。根据 $v = \frac{r^2 P}{8l\eta}$,式中 l 为孔隙深度,油脂黏度越高,孔隙越小,油脂吸收速率越低,即随着油脂渗入食物越来越深,渗入速率逐渐降低。

煎炸过程中,表皮的微观结构很大程度上决定着油脂吸收过程,为了使水分不断从食物内部迁移至表皮,保持水蒸气持续流动,表皮必须具有通透性^[9]。

2 冷却阶段油脂吸收冷凝机理

图3呈现了冷却过程煎炸食物油脂冷凝吸收现象。

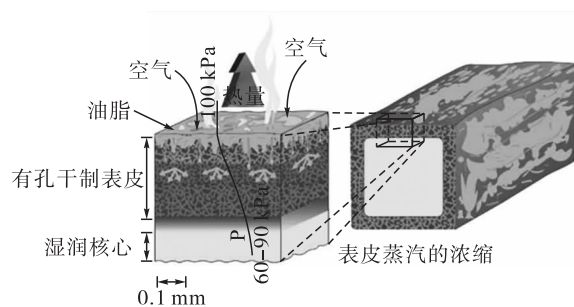


图3 冷却过程的油脂冷凝吸收^[10]

由图3可以看出,当食物从煎炸油中取出,油脂粘附在表面,与空气竞争进入孔隙。冷却过程油脂吸收主要驱动力为毛细管压力和可能由于蒸汽冷凝引起的压力降,在这些作用力下,最终食物表面部分油脂浸入食物内部。冷却过程油脂浸入的阻力与油脂黏度、移动的水释放的孔隙,或细胞移位引起的孔隙有关,从而引起不同油脂或不同产品结构的油脂吸收类型有显著性差异。只有表面充分干制的食物,油脂才能浸润和浸入^[11]。

研究表明,油炸食物中80%以上的油脂吸收发生在冷却阶段^[12],油炸食品在冷却过程中油脂渗入的动力学方程已有研究^[10]。如果油炸食物浸在煎炸油里冷却,油脂将充满所有孔隙,可从食物外表面看出油浸现象。如果油炸食物在空气中冷却,毛细管力与渗入食物的油脂柱之间存在机械平衡,动态平衡力用油脂柱质量(m_0)与油脂渗入食物的平均速率(v_0)表示,公式如下:

$$\underbrace{\frac{d}{dt} [m_0^{(t)} v_0^{(t)}]}_{\text{动量变化}} = \underbrace{2\pi r \gamma \cos \theta}_{\text{毛细管力}} - \underbrace{8\pi \mu_0 v_0 Z}_{\text{黏性力}} - \underbrace{\pi r^2 Z \rho_0 g}_{\text{质量}} \quad (3)$$

式中: γ 为油脂与空气之间的界面张力; θ 为油

脂与物料的接触角; μ_0 和 ρ_0 分别为油脂的黏度与密度; Z 为油脂柱高度。

Z_{\max} 是由公式(3)在平衡状态推导来的,如当速率和动力变化消失时:

$$Z_{\max} = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho_0gr} \quad (4)$$

因此,随着孔径 r 倒数增加,油脂柱高度升高,而油脂吸收量($m_0^{eq} = \rho\pi r^2 Z_{\max}$)与 r^2 成正比例。也就是说,当孔径较大时,平衡时油脂吸收量预计较高,但是当孔径较小时油脂渗入预计较深。

工业煎炸过程中,降低在连续煎炸锅外传送带产品的滞留时间使得从产品表面排除的油脂量减少,致使冷却阶段油脂含量较高。在外传送带,煎炸产品脱离高温煎炸油,但仍然在煎炸锅引擎盖底部,因此产品温度与油温接近。随着产品温度在冷却阶段降低(产品从煎炸锅取出后),孔隙中的毛细管压力增加,使得表面油流入产品内部。油温降低引起产品表面黏度增大,也使得油脂从产品表面排除更难。因此,提高外传送带速率会使煎炸终产品中油脂含量升高^[13]。

3 表面活性剂理论

Blumenthal 早期解释食物怎样煎炸,提出煎炸过程表面活性剂理论^[14],基本假设包括以下内容:

(1) 传热介质(煎炸油)为非水介质,几乎所有煎炸食物均含水分。

(2) 煎炸过程中热量从非水介质(油脂)传至食物。

(3) 煎炸过程实质上是食物脱水过程,食物煎炸时水分及其所含物质从食物内部进入煎炸油中。煎炸过程中可排除煎炸体系中多余水分,因此能够维持一个相对稳定的干燥环境,煎炸操作可以看作传统空气干燥。食物成分渗入油脂,油脂自身发生裂解,油脂与空气界面氧的吸收,这些因素使得油脂从纯甘油三酯(>96%)组成变为含有上百种化学物质的混合物。

(4) 随着煎炸过程进行,油脂传热现象不断增强,包括油脂与食物界面的传热,这归因于油脂降解产生的降解产物。

(5) 这些降解产物影响着油脂与食物界面的热量传递,降低了两种不相溶物质间的表面张力,起到表面活性剂作用,被认为是表面活性剂。

(6) 随着油脂降解,越来越多的表面活性剂产生,食物与油脂的接触增多,食物吸收油脂过量,食物表面传热增强致使食物过度干制和食物表面变黑。

根据表面活性剂理论,煎炸老油引起煎炸食物表面和内部质量产生差异,这与高温煎炸产生的甘油二酯、单甘酯等表面活性剂有关,这些表面活性剂的形成使得油脂与食物之间的接触增多,同时也使得煎炸油更易起泡。随着煎炸油与煎炸食物之间的接触时间延长,越来越多的热量由煎炸油传至食物,导致食物表面大量脱水,水分不断从煎炸食物内部转移到外部。因此,煎炸油中表面活性剂浓度过高,会带来油浸及食物表面煎炸过度而内部仍未熟制现象^[15]。

Blumenthal^[16]发现煎炸油中添加15%~25%(聚合物控制在5%~15%)的极性表面活性成分(皂化物、双甘油酯、磷脂等)、甘油三酯含量控制在75%~85%时,油炸食品含油率适中,一般若要达到此要求,必须在油炸过程中滤去不溶残渣和可溶性表面活性物质,同时还要补充新鲜油脂。表面活性剂理论表明煎炸食物品质与煎炸油中表面活性剂含量之间存在一定的关联。因此,理解煎炸油的降解过程对于生产高质量的煎炸食物尤为重要。

图4表征的是煎炸油在煎炸过程中的质量变化曲线。起始阶段为油脂降解缓体期(初始阶段,0-A),在这个时期风味物质很少产生,仅有少量油脂被食物吸收;接着进入油脂降解上升期(新鲜阶段,A-B),食物表面开始出现黄色,食物吸收的油脂量开始增加;在油脂降解适宜期(最优阶段,B-C),食物表面呈现金黄色,食物表面酥脆、味道鲜美,食物吸收的油脂量达到最佳状态。这是煎炸食物的最佳时期,也是经营者希望尽可能长时间保持的时期。这个时期过后,油脂品质和煎炸食物品质均会开始慢慢降低。在油脂降解期(降解阶段,C-D),煎炸食物表面颜色开始变深,食物吸收油脂量持续增加;再之后是油脂衰败期(废弃阶段,D-E),在这个时期,食物吸收油脂过量使其口感过于油腻,食物表面硬化而食物中心不能正常熟制,导致食物表面开始向内塌陷。另外油脂颜色变为深色,油脂降解过度产生不愉快的气味,同时可能伴随着油烟以及油脂起泡现象发生。

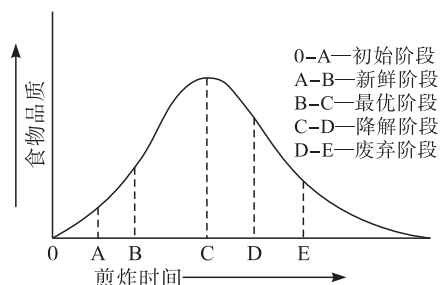


图4 煎炸油质量变化曲线^[17]

必须指出的是,为了获得油炸食品最佳的品质和特性,油脂需要适当降解,适度含量的油脂降解产物有助于食物具有更好的风味、气味和质地。

4 粘附理论

理论上,从浸润的液体取出固体时,会带走一定厚度的液体^[5,17],液体厚度 H 见公式(5)。因此,当食物从煎炸油中取出时,食物自身会带走一部分油脂。

$$H = 0.94 \times \frac{(\mu U)^{2/3}}{\gamma^{1/6} (\rho g)^{1/2}} \quad (5)$$

式中: μ 为油脂黏度; U 为取出速率; γ 为油脂表面张力; ρ 为油脂密度; g 为重力常数。

显而易见,油脂黏度和食物取出速率影响油脂吸收,油脂黏度越大,取出速率越快,食物带走油脂量越高。食物从煎炸油中的取出过程影响着食物表面携带的油脂量,进而对冷凝阶段食物的油脂吸收产生影响,最终影响煎炸食品品质。此外,表面活性剂的存在使得油脂表面张力降低,可能引起食物从煎炸油中取出时食物表面油层厚度增加^[18]。当煎炸食物从高温油中取出后,通过离心等方法可以降低表面油含量。研究表明,离心(3 min, 400 r/min)可使常压煎炸薯片和真空煎炸薯片油脂含量分别降低 73% 和 64%。食物从煎炸锅取出后,控油 9 min,可分别使常压煎炸和真空煎炸薯片中的油脂含量降低 10.8% 和 5.7%^[19]。

5 结束语

毛细管吸油机理主要发生在食物煎炸阶段,粘附理论主要在食物从油脂取出过程中起作用,而食物从油脂中取出后,油脂吸收以冷凝机理为主。表面活性剂理论贯穿整个煎炸过程中,与煎炸过程中油脂的物理化学性质变化密切相关。根据以上煎炸食物吸油理论,分析影响煎炸食物油脂吸收的因素,探讨调控煎炸食物油脂含量的途径或措施,这将为煎炸食品的品质改善和煎炸食品的工业化生产提供理论依据。

参考文献:

[1] VARELA P, FISZMAN S M. Hydrocolloids in fried foods—a review[J]. *Food Hydrocoll*, 2011, 25: 1801–1812.
 [2] 林俊虹,李沛生. 油炸食品控油机理及方法综述[C]//“食品工业新技术与新发展”学术研讨会暨 2014 年广东省食品学会年会论文集. 广州:广东省食品学会,2014: 220–224.
 [3] SAGUY I S, UFHEIL G, LIVINGS S. Oil uptake in deep-fat frying: review[J]. *OCL—OL Corps Gras Li*, 1998, 5: 30–35.
 [4] SINGH R P. Heat and mass-transfer in foods during deep-

fat frying[J]. *Food Technol*, 1995, 49: 134–137.
 [5] ZIAIFAR A M, ACHIR N, COURTOIS F, et al. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process[J]. *Int J Food Sci Tech*, 2008, 43: 1410–1423.
 [6] MOREIRA R G, SUN X, CHEN Y. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying[J]. *J Food Eng*, 1997, 31: 485–498.
 [7] MOREIRA R G, BARRUFET M A. A new approach to describe oil absorption in fried foods: a simulation study[J]. *J Food Eng*, 1998, 35: 1–22.
 [8] MELLEMA M. Review: mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods[J]. *Trends Food Sci Tech*, 2003, 14: 364–373.
 [9] PINTHUS E J, WEINBERG P, SAGUY I S. Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity[J]. *J Food Sci*, 1995, 60: 767–769.
 [10] SAHIN S, SUMMU S G. Advances in deep-fat frying of foods[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009: 55–138.
 [11] GAMBLE M H, RICE P. Effect of pre-fry drying of oil uptake and distribution potato crisp manufacture[J]. *Int J Food Sci Tech*, 1987, 22: 535–548.
 [12] UFHEIL G, ESCHER F. Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices[J]. *Lebensm-Wiss Technol*, 1996, 29: 640–644.
 [13] BRESCIA L, MOREIRA R G. Modeling and control of a continuous frying process: a simulation study. Part II: control development[J]. *Food Bioprod Process*, 1997, 75(1): 12–16.
 [14] STIER R F. Frying as a science—an introduction[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2004, 106: 715–721.
 [15] DANA D, SAGUY I S. Review: mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect—theory and myth[J]. *Adv Colloid Interfac*, 2006, 128(1): 267–272.
 [16] BLUMENTHAL M M. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying[J]. *Food Technol*, 1991, 45: 68–71.
 [17] KROZEL J W, PALAZOGLU A N, POWELL R L. Experimental observation of dip-coating phenomena and the prospect of using motion control to minimize fluid retention[J]. *Chem Eng Sci*, 2000, 55: 3639–3650.
 [18] QUERE D, DERYCK A. Hydrodynamic coating of a fiber[J]. *Ann Phys Pub*, 1998, 23: 1–149.
 [19] DUEIK V, MORENNO M C, BOUCHON P. Microstructural approach to understand oil absorption during vacuum and atmospheric frying[J]. *J Food Eng*, 2012, 111: 528–536.