

# 油炸食品风味的研究进展

张 聪, 陈德慰\*

(广西大学轻工与食品工程学院, 南宁 530004)

**摘 要:** 油炸食品因其具有良好的风味特征而被消费者所喜爱。油炸食品的风味是原料在油脂中发生复杂理化反应的结果。本文简述了油炸过程与风味的关系, 介绍了油炸食品香气、质构和色泽的研究进展。油炸食品的香气主要是由两种香气按一定比例构成的特殊香气, 一是由低级的、不饱和的醇类和醛类构成的油脂香, 二是吡嗪、吡啶、呋喃酮等含氧、含氮的杂环化合物所构成的焦糖、烘烤香; 其主要受油脂本身的风味成分、炸油中脂肪酸组成、油炸方式、油炸工艺参数等因素影响。油炸食品的质构特征主要是在外部形成一层坚硬的外壳、在内部分布着微孔, 主要受油炸的工艺参数、炸油的品种、油炸的方式等的影响。油炸食品的特征色泽主要是红色和黄色, 主要是由焦糖化反应和美拉德反应以及其他反应共同生成, 主要受原料本身的性质、油炸中产生的物质、油炸工艺参数、加工处理方法等因素影响。

**关键词:** 油炸; 香味; 质构; 色泽; 理化变化

## Advance in flavor study of the deep-fried food

ZHANG Cong, CHEN De-Wei\*

(Institute of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**ABSTRACT:** The deep-fried food is widely loved by the customs because of its characteristic flavor. Its flavor is formed by the complex physical and chemical reactions. This paper gave a brief description on the relationship between the flavor and the deep-frying process and introduced the research advance of the aroma, texture and the color of the deep-fried food. The characteristics of the aroma is a special aroma, which is constituted of two aromas, one is oil's aroma, and another is baking and caramel's aroma. The oil's aroma was formed by low grade and unsaturated alcohol and aldehyde. The baking and caramel's aroma was formed by heterocyclic compounds, which contained oxygen and nitrogen, such as pyrazinamide, pyridine and furanone. The aroma of the deep-fried food is influenced by oil itself, the composition of fatty-acid in deep-fried oil, the style of the frying, and the parameters of the deep-fried process. The characteristics of the texture is the hard surface outside and microporous inside, which is influenced by the process and style of the frying, the variety of the deep-fried oil. The characteristics of color is red and yellow, which is formed by Maillard reaction, caramelization reaction and other chemical reactions. The color of the deep-fried foods is influenced by the nature of the raw materials, the substance in deep-fried oils, the parameters of the deep-fried process, and the deep-fried process itself.

**KEY WORDS:** deep-frying; aroma; texture; color; physical and chemical reaction

基金项目: 广西科技攻关项目(1222015-4)

**Fund:** Supported by Guangxi Programs for Science and Technology Development (1222015-4)

\*通讯作者: 陈德慰, 博士, 教授, 主要研究方向为水产品加工与食品风味技术。E-mail: chendw@gxu.edu.cn

\*Corresponding author: CHEN De-Wei, PhD, Professor, Guangxi University, No.100, Daxue Road, Nanning 530004, China. E-mail: chendw@gxu.edu.cn

## 1 引言

油炸是将食品原料经一定的预处理之后,放入盛有大量油脂的加工设备中使其成熟的一种加工方法,距今已有上千年的历史。作为我国休闲食品领域的重要组成部分,油炸食品具有良好的发展前景。据统计,2009年休闲食品制造业创造工业产值4364.54亿元,同比增长27.53%;实现销售收入4304.03亿元,同比增长31.39%;实现利润117.71亿元,同比增长52.87%<sup>[1]</sup>。油炸对于食品品质的提升具有重要作用,原料经过油炸后,外形收缩变硬变脆,表面逐渐形成一层金黄色,散发出一种诱人的香味,品尝时酥脆可口。对于食品所形成的风味,也有“狭义”与“广义”之分。“广义”的观点认为,“风味”主要指由摄入口腔的食物使人产生的各种感觉,主要指味觉、嗅觉、触觉所具有的总的特性,它包括了食物刺激人类感官而引起的物理感觉和化学感觉,认为是这些感觉的总和<sup>[2]</sup>。油炸食品的香气、质构和色泽长期以来作为评价油炸食品质量的重要指标而被关注。本文将从油炸过程与风味的关系入手,从香气、质构和色泽三个方面来阐述油炸食品风味的研究进展。

## 2 油炸过程与风味之间的关系

油炸食品的风味是食品原料与油脂在加热过程中发生复杂的物理化学变化的结果。有学者指出,油炸过程可分为初始加热、表面沸腾、降速和气泡消失等四个阶段<sup>[3]</sup>。油炸的物理变化为油炸食品的质构提供了物质基础。油炸的化学变化<sup>[4,5]</sup>主要包括油脂本身的变化和油炸原料的变化,两者的共同作用形成了香气和色泽。油脂的热降解反应为油炸食品香气提供了物质基础;蛋白质与糖类发生的美拉德反应形成了油炸食品主要的香气和色泽。油炸过程与风味的关系见图1。

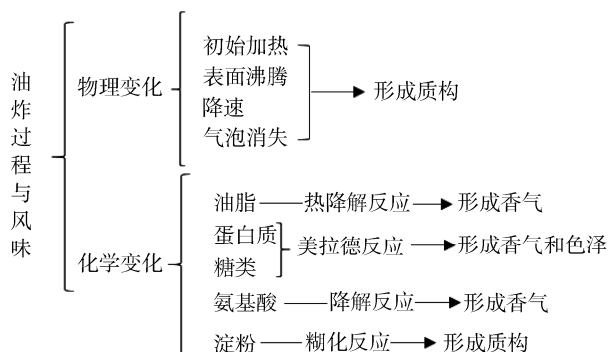


图1 油炸过程与风味的关系

Fig.1 The relationship between flavor and the deep-fat frying process

## 3 油炸食品的香气与影响因素

原料在油炸之后,会产生特殊的香气。油炸食品香气的产生是一个非常复杂的过程,但从反应大类来讲,油炸过程中风味的产生主要是脂肪的氧化降解和美拉德反应,焦糖化反应、氨基酸降解反应也对风味物质的产生有一定的贡献。

### 3.1 油炸食品香气的产生

人们已经鉴定了深度油炸中形成的多种挥发性物质,包括很多酸、醇、醛、烃、酮、酯、内酯、芳香化合物及其杂环化合物(例如戊基呋喃和1,4-二氧杂环乙烷等)<sup>[6]</sup>。表1总结了油炸食品风味产生的途径及其产物。

### 3.2 油炸食品香气的研究进展

目前,国内外对油炸食品香气成分的研究不多,研究内容也比较分散,现综述如下。

Thompson等<sup>[7]</sup>采用气相色谱法分析收集到的油炸后挥发性分解产物,共检测出133种,其中包含所识别的化合物,由饱和酸、不饱和羧酸、羟基酸、酮酸、二元酸、芳族化合物,饱和醛、不饱和醛,不饱和内酯和饱和内酯等组成。

油炸薯条的香味物质已揭示得较为清楚。Wagner<sup>[8]</sup>采用稀释分析和顶空气相-嗅闻技术检测了油炸薯条的挥发性风味物质。Van等<sup>[9]</sup>用Tenax TA质构仪模拟薯条在口中的咀嚼情况,再用吹扫-捕集法收集挥发性物质,利用GC-MS法结合GC-O来鉴定化合物和分析有活性的化合物。这几名学者鉴定甲硫、2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪、(E,E)-2,4-癸二烯醛、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮、2,3-丁二酮-3-甲基丁醛和2-甲基丁醛、己醛、2,3-二甲基吡嗪、2-甲基丙醛、2,5-二甲基吡嗪、二甲基三硫醚等多种化合物为油炸薯条的风味活性化合物。

鸡肉油炸后的香味成分也有学者研究。马文睿等<sup>[10]</sup>采用固相微萃取结合质谱联用的方法检测了鸡肉在腌制、油炸和微波复热过程中风味物质的变化规律。检测发现,油炸后检测出46种风味化合物,其中以烃类、醇类和含硫化物为主,可见油炸加工对鸡肉整体香味构成具有重要作用。Osawa等<sup>[11]</sup>检测了利用棕榈油炸鸡肉136h后的挥发性风味成分,共检测出208种,其中庚醛、叔-2-庚烯醛、癸醛被确定为在油炸过程中棕榈油在感官上的潜在标记物。

Chyau等<sup>[12]</sup>研究了葱片在不同的油脂中的挥发性成分,其中在中链脂肪酸中发现17种挥发性物质,在大豆油、玉米油和猪油中均发现了28种挥发性物质,这些挥发性物质主要是二甲基二硫醚、己醛、2-甲基-2-戊烯醛、2,4-二甲基噻等。

张文君等<sup>[13]</sup>利用固相微萃取结合质谱联用的方法对油炸藕夹中的挥发性风味成分进行了检测,结果发现藕夹

表 1 油炸食品香气产生的途径及其产物  
Table 1 The aroma compounds of the deep-fat fried food and its forming approach

反应大类	反应途径	产物	代表产物
美拉德反应	脱氧糖酮脱水	呋喃型化合物	4-羟基-5-甲基-3-呋喃酮、麦芽酚
	碳水化合物裂解	醛、酮等小分子	乙二醛、丙酮醛、丁二酮
	Strecker 降解	醛类物质	乙醛、异丁醛、甲硫醛、苯乙醛
脂肪氧化降解	缩合反应	各种风味物质	吡嗪、吡啶、吡咯烷、噻唑、硫醇烷
	游离脂肪酸氧化降解	醛、酮、酸等小分子	甲基酮、 $\gamma$ -羟丁酸
	脱水环化	内酯类化合物	$\gamma$ -内酯, $\delta$ -内酯
焦糖化反应	糖受热降解	低分子挥发性物质	内酯、丙酮醛、甘油醛、乙二醛
氨基酸降解	氨基酸受热降解	低分子挥发性物质	噻唑、噻吩、吡嗪、吡啶、吡咯

中共检出化合物 53 种, 主要为醛类、含硫化合物、酯类、酮类以及呋喃类化合物; 其中醛类等小分子化合物主要源于油脂氧化; 含硫杂环化合物以及部分醛、酮、酯类化合物主要源于肉馅美拉德反应、Strecker 降解反应, 非杂环含硫化合物源于香葱; 吡嗪和吡啶源于裹衣在高温下的焦糖化反应、Strecker 降解反应等。

Jelen 等<sup>[14]</sup>检测了利用黄豆发酵 5 d 所制成的豆豉油炸后的风味物质, 这些风味物质主要是: 2-乙酰基-1-吡咯啉、2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、二甲基三硫醚、甲硫、2-甲基丙醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛等, 表明油炸过程产生增加了豆豉中的风味活性物质。

Romano 等<sup>[15]</sup>利用气相色谱结合核磁共振检测间歇油炸过程中的挥发性风味物质, 用来表征油炸过程中极性成分的变化。结果表明, (E,E)-2,4-癸二烯醛和(E)-2-十一醛与极性成分的产生有关。

通过以上综述并结合有关文献<sup>[16]</sup>, 油炸食品共性的香味活性物质主要是己醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮、甲基丙醛、2-甲基丁醛和 3-甲基丁醛等。而这些香味活性物质的生成也很可能与油炸食品原料本身有关。

由油炸食品共性的香味活性物质可知, 油炸食品的香气主要由油脂香和焦糖、烘烤香按一定的比例组合而成。油脂香主要来自于低级的、不饱和的醇类和醛类等, 代表性的如(E,E)-2,4-癸二烯醛, 这些物质主要来自于脂肪的降解; 焦糖、烘烤香主要来自于一些含氧、氮的杂环化合物, 代表性的如 2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮等, 这些产物主要来自于美拉德反应。

综上所述, 油炸食品的香气是主要由两种香气按一定比例构成的特殊香气, 一是由低级的、不饱和的醇类和醛类构成的油脂香, 二是吡嗪、吡啶、呋喃酮等含氧、含氮的杂环化合物所构成的焦糖、烘烤香。

### 3.3 影响油炸食品风味的因素

影响油炸食品风味的因素主要有油脂本身的风味成分、炸油中脂肪酸的组成、油炸的方式、油炸工艺参数等。

#### 3.3.1 油脂本身的风味成分

油脂本身受其脂肪酸的组成和含量的影响, 在油炸的过程中也会产生一些特征性的挥发性风味物质, 从而影响油炸制品的风味。谢婧等<sup>[17]</sup>发现菜籽油主要挥发性风味成分 47 种, 包括硫苷降解产物、氧化挥发物(烯、醛、醇类)、杂环类物质及苯环类物质。而葵花籽油的风味成分则不同<sup>[18]</sup>。Ramirez<sup>[19]</sup>采用固相微萃取结合质谱联用的方法测定利用不同油脂(橄榄油、葵花籽油、黄油和猪油)炒制猪排时产生的会发生风味成分时发现: 在橄榄油炒制中检测到的主要是脂质衍生的化合物, 如戊-1-醇, 己醛, 庚-2-烯醛, 壬醛, 癸醛, 苯甲醛等; 在猪油炒制中检测到的主要是醛、酮类, 如 2-甲基丁醛、壬-2 酮, 十一碳-2 酮, 十三烷酮等。因此, 选择不同的油脂作为炸油对于油炸制品的风味有影响。

#### 3.3.2 炸油中脂肪酸的组成

炸油中脂肪酸的组成能够影响油炸制品的风味。首先, 炸油中的脂肪酸抗氧化的能力各不相同。Frankel<sup>[20]</sup>认为, 如果油酸的反应性氧为 1, 那么亚油酸的反应性氧为 50, 而亚麻酸则为 100, 这说明油酸的抗氧化性大于后两者。因此, 如果炸油中亚油酸和亚麻酸过高, 那么油炸产品容易氧化, 造成其风味的损失。其次, 一些脂肪酸的组合能产生特殊的风味。Neff<sup>[21]</sup>发现油酸和亚麻酸在加热 1、3、6 h 时, 随着时间的增加, 亚油酸反应生成(E,E)-2,4-癸二烯醛的量在逐渐增加, 但是油酸产生(E,E)-2,4-癸二烯醛的量却没有增加。Warner 和 Gupta<sup>[22]</sup>在制作油炸薯片时, 采用高油酸大豆油与低油酸大豆油之比为 1:1 的比例作为炸油, 品尝起来具有鲜鱼的滋味。

#### 3.3.3 油炸方式

对于传统的油炸方式, 由于其中发生了美拉德反应、

焦糖化反应和蛋白质降解反应等,对风味物质的产生具有重要影响。因此,传统油炸制品其风味较为浓郁。由于真空抑制了以上反应的进行,因此,真空油炸食品的风味较传统油炸食品弱。

#### 3.3.4 油炸工艺参数

一般来说,油炸的时间越长,油炸食品中风味物质生成的就越多;油温越高,物质的反应越快,越不利于油炸食品的风味。Neff<sup>[21]</sup>发现油酸加热1、3、6 h,随着油炸时间的延长,油酸生成的(E)-2-癸烯醛的量先减少后增加。

### 4 油炸食品的质构与影响因素

当油炸食品入口之后,我们首先感受的就是其质构。油炸食品通常给人以酥脆的感觉,这种感觉与油炸食品的微观结构,即质构密切相关。

#### 4.1 油炸食品质构的形成

油炸食品质构的形成主要分为两个阶段,第一阶段是水分蒸发阶段,在这一阶段中,水分迅速大量蒸发,在食品表面形成了一个硬壳;第二阶段是微孔形成阶段,在这一阶段中,油脂进入原料内部,在原料的内部形成大小均匀或不均匀,层次分明或不分明的微孔,微孔的产生为油脂的进入形成了“通道”。

#### 4.2 油炸食品质构的研究进展

对于油炸食品质构的研究多结合油炸食品的生产工艺,通过对生产工艺的改进来改善油炸食品的质构。Senthil<sup>[23]</sup>等研究了大豆粉与小麦粉在四种不同比例混合下制成油炸食品的质构情况,随着大豆粉比例的增加,油炸食品的硬度显著增加( $P < 0.05$ )。Jayendra<sup>[24]</sup>研究了意大利传统食品 Gulab Jamun 在油炸过程中的动力学参数,发现改变其质构的活化能在 24.52~77.58 kJ/mol 之间。Ravi<sup>[25]</sup>研究了采用单轴压缩法测定油炸零食质构的可行性,发现采用较低的压缩速度(0.1 或 0.01 mm/s)能够较好地检测油炸零食的质构特性。张素君<sup>[26]</sup>探究了获得油炸鸡排最佳质构的工艺条件为 170 °C 2 min,这时产品的硬度最小、粘聚性最大、咀嚼性最小。

#### 4.3 影响油炸食品质构的因素

影响油炸食品质构的因素主要有油炸的工艺参数、炸油的品种、油炸的方式等。

##### 4.3.1 油炸的工艺参数

油炸温度和油炸时间直接影响油炸制品的质构。于修焯<sup>[27]</sup>等在研究油炸马铃薯片的断裂力随油炸时间的变化时发现,30~120 s 时,马铃薯片的断裂力都比较小,且变化不明显;油炸 150 s 时,断裂力突然增大,且随油炸时间的延长,变化不明显,即断裂力可作为判断薯片炸熟与否的标志之一。颜未来<sup>[28]</sup>曾研究不同油炸温度对香芋片质构特性的影响,发现香芋片的硬度随着油炸温度的上升而上升。

##### 4.3.2 炸油的品种和成分

炸油的品种和成分对油炸制品的质构也有影响。Kita<sup>[29]</sup>研究炸油的品种对油炸薯片质构的影响,在 170 °C 的油温下,不同油脂对油炸薯片的脆度的贡献由大到小为:菜籽油 花生油 棕榈油 橄榄油 葵花籽油 大豆油。邓云<sup>[30]</sup>研究了煎炸油中产生的极性成分对食品质构的影响,结果发现随着油炸时间延长,油中极性成分增加,食品穿孔力虽没有明显变化,但其剪切系数( $K_p$ )有增加而压缩系数( $K_a$ )有减小的趋势,说明随油炸时间的延长,食品越来越硬。

##### 4.3.3 油炸方式

与传统常压油炸相比,真空油炸的油温相对较低,因此油炸制品的质构较好<sup>[31]</sup>。范柳萍<sup>[32]</sup>曾研究真空油炸胡萝卜脆片基本特性,结果发现随着油炸温度和真空度的提高,胡萝卜片的破碎力逐渐减小,即其脆度逐渐提高。Troncoso<sup>[33]</sup>研究了预处理土豆片在真空和传统油炸下的质构,结果表明真空油炸土豆片的最大剪切力,脆度和硬度较传统油炸有显著降低。

### 5 油炸食品的色泽与影响因素

金黄的色泽是油炸食品引入人们感官,留给人们的第一印象,油炸食品色泽的形成与油炸过程中所发生的化学反应密不可分,同时油炸过程中的各种因素又影响着其色泽的形成与变化。

#### 5.1 油炸食品色泽的形成及油炸过程中颜色变化

油炸食品的色泽主要是由非酶褐变反应所形成,其中包含着美拉德反应、焦糖化反应等。

油炸食品的色泽主要是在美拉德反应的二、三阶段生成。美拉德反应第一阶段的产物经果糖基胺的 1,2-烯醇化,其产物羟甲基糠醛可作为食品褐变的标志;第三阶段主要是生成类黑色素,从而使油炸食品的颜色变得更深、更黑<sup>[34]</sup>。

与此同时,油炸过程中未与胺类共存的糖类物质也发生热降解,这些热降解主要生成一些挥发性物质和最终聚合生成有焦糊气味的焦糖素,即焦糖化反应。焦糖化反应的颜色随着反应的进程有所不同,颜色逐渐加深,最终形成棕黄的焦糖色。

在油炸过程中,随着美拉德反应和焦糖化反应以及其他化学反应的进行,产品的色泽会发生变化。一般来讲,原料在油炸过程中,黄色和红色增加明显,给人以轻快明亮的感觉。Krokida 等<sup>[35]</sup>研究土豆条在油炸过程中的色泽变化,随着油炸温度的上升,在同样的油炸时间内: $L^*$ 值降低,明度平衡值由上升; $a^*$ 值上升,其平衡  $a^*$ 值也随着上升;体现黄色程度的  $b^*$ 值显著上升。Baik 等<sup>[36]</sup>研究豆腐在 147~172 °C 油炸时发现,随着油炸的时间,明度( $L^*$ )由下降,红色值( $a^*$ )上升,总颜色变化( $\Delta E^*$ )由上升,黄色值( $b^*$ )先上升后降至平衡点。王勤志等<sup>[37]</sup>在研究油炸扣肉颜

色变化时发现, 在油炸温度达到 200 °C 时, 扣肉皮色差  $\Delta E^*$ 、 $\Delta a^*$  值和  $\Delta b^*$  值比低温油炸时(油炸温度为 160 和 180 °C)明显增加, 在 230 °C 下油炸超过 14 min 时, 扣肉皮开始逐渐变黑。Barbut<sup>[38]</sup>的研究也进一步印证了上述结论。

## 5.2 影响油炸过程中颜色的因素

影响油炸食品色泽的因素主要有: 原料本身的性质、油炸中产生的物质、油炸工艺参数、加工处理方法等。

### 5.2.1 原料本身的性质

油炸原料中的还原糖对于油炸产品的色泽有重要的影响, 易发生氧化褐变的原料对油炸食品的色泽也有重要的影响。余善鸣等<sup>[39]</sup>发现随着马铃薯中还原糖含量的不断增加, 油炸马铃薯片的色泽逐渐加深, 当还原糖的含量在 0.7%~1.2% 之间, 其色泽最佳。

### 5.2.2 油炸中产生的物质

油炸过程中所产生的一些物质, 如丙烯酰胺也与油炸食品的色泽有关。Serpen 等<sup>[40]</sup>发现油炸食品的  $a^*$  值与  $\Delta E^*$  值与丙烯酰胺的生成量呈正相关( $r=0.7870$ ), 说明丙烯酰胺的生成影响食品红色的变化。

### 5.2.3 油炸工艺参数

油炸时间和温度是描述油炸过程最重要的两个参数, 也是影响油炸产品色泽最重要的两个参数。Pedreschi 等<sup>[41]</sup>研究土豆片在油炸过程中的变化发现, 随着温度的提高,  $a^*$  上升速度也随之提高; 同样的, 随着油炸温度的提高,  $a^*$  值和  $\Delta E^*$  值也随之提高。孙真等<sup>[42]</sup>研究鸡腿油炸过程中的颜色变化时发现: 随着油炸温度和油炸时间的增加, 油炸鸡腿  $L^*$  值下降,  $a^*$  值增加; 随着油炸温度的增加,  $b^*$  值增加。

综上所述, 在油炸过程中, 随着油炸时间和温度的上升, 美拉德反应和焦糖化反应的速率也在加快, 产品的明度值  $L^*$  下降, 代表黄色的  $b^*$  值和代表红色的  $a^*$  值增加, 代表色泽差异的  $\Delta E^*$  值也增加。

### 5.2.4 加工处理方法

油炸食品的原料经过一定的前处理或者对加工工艺进行一定的改进, 可以在一定程度上改善油炸食品的色泽。这些方法主要有: 在油炸前对原料进行护色, 利用真空油炸技术对产品的色泽进行改进等。

(1) 在油炸前对原料进行护色。李洁等<sup>[43]</sup>利用乳酸发酵改进了油炸藕片的色泽, 乳酸发酵可有效降低鲜藕中还原糖含量; 对于还原糖含量较高者( $>0.4\%$ ), 发酵 6 h 可以使油炸片获得最佳色泽。还原糖的降低, 避免了美拉德反应的产生, 因而产品能获得较好的色泽。

(2) 采用真空油炸技术。真空油炸技术是在大约 6.65 kPa 的情况下处理油, 降低了煎炸油和水的沸点, 从而使煎炸油温降低的油炸技术。由于在油炸期间无空气, 可抑制一些不希望发生的化学反应, 如酶促褐变等, 因此产品的色泽好于常压深度油炸<sup>[31]</sup>。Shyu 等<sup>[44]</sup>曾研究苹果片的真空油炸过程, 发现苹果片的明度值  $L^*$  随着油炸时间和温

度迅速降低, 这与常压深度油炸无异, 但是苹果片在 100 °C 油炸 20 min 时, 红色色度值  $a^*$  和黄色色度值  $b^*$  迅速提高。Mariscal<sup>[45]</sup>曾比较常压油炸和真空油炸色泽的区别, 发现真空油炸和常压油炸过程中  $L^*$  变化无差异 ( $P>0.05$ ), 但是  $\Delta E^*$  值随油炸时间的延长变化较小。

综上所述, 在油炸前对原料进行护色处理或者采用真空油炸技术对于油炸产品的色泽都能起到很好的保护作用。

## 6 总结与展望

油炸风味是油脂与食品原料间经过复杂的物理和化学变化而产生的, 随原料与加工中各种因素的变化而变化。随着人们对油炸本质认识的深入, 新型的油炸方式, 如真空油炸、低温油炸、水油混合油炸等新技术的产生, 又将会对油炸食品的风味产生深刻影响。在不久的将来, 随着新技术与新方法的普及, 油炸食品的风味会越来越好, 营养价值也会越来越高。油炸这种古老食品加工方法将焕发出勃勃生机。

### 参考文献

- [1] 食品商务网. 中国休闲食品行业发展现状分析[EB/OL]. (2014-04-23). <http://ccn.mofcom.gov.cn/spbg/show.php?id=15041>. [2014-8-9].  
Commercial net of food. Analysis on the present situation of Chinese snack food [EB/OL]. (2014-04-23)[2014-8-9]. <http://ccn.mofcom.gov.cn/spbg/show.php?id=15041>. [2014-8-9].
- [2] 丁耐克. 食品风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996.  
Ding NK. Food flavor chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1996.
- [3] 邓云, 戴岸青, 杨铭铎, 等. 油炸过程中食品与油脂的相互作用[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2003, 19(2): 197-201.  
Deng Y, Dai AQ, Yang MD, *et al*. Interaction of food and oil in process of deep frying [J]. J Harbin Univ(Nat Sci Ed), 2003, 19(2): 197-201.
- [4] Sahin S, Sumnu SG. Advance in deep-fat frying of food [M]. New York: CRC Press, 2009.
- [5] 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, 21(5): 93-97.  
Yang MD, Deng Y, Shi CB, *et al*. Dynamic relationship between deep-frying process and quality of fried food [J]. J Chin Cere Oils Assoc, 2006, 21(5): 93-97.
- [6] 张晓鸣, 夏书芹, 贾承胜, 等. 食品风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.  
Zhang XM, Xia SQ, Jia CS, *et al*. Food flavor chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009.
- [7] Thompson JA, May WA, Paulose MM, *et al*. Chemical reactions involved in the deep-fat frying of foods. VII. Identification of volatile decomposition products of trilinolein [J]. J Am Oil Chem Soc, 1978, 55(12): 897-901.
- [8] Wagner R, Grosch W. Evaluation of potent odorants of french fries [J]. LWT-Food Sci Technol, 1997, 30(2): 164-169.

- [9] Van Loon WAM, Linssen JPH, Legger A, *et al.* Identification and olfactometry of French fries flavour extracted at mouth conditions [J]. *Food Chem*, 2005, 90(3): 417–425.
- [10] 马文睿, 赵建新, 严青, 等. 可微波冷冻预油炸鸡肉的风味物质研究[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(11): 118–121.
- Ma WR, Yan JX, Yan Q, *et al.* Changes of aroma profile during the manufacturing and cooking of microwavable pre-fried chicken [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2009, 30(11): 118–121.
- [11] Osawa CC, Goncalves LAG, Da Silva MAAP. Odor significance of the volatiles formed during deep-frying with palm olein [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2013, 90(2): 183–189.
- [12] Chyau C, Mau J. Effects of various oils on volatile compounds of deep-fried shallot flavouring [J]. *Food Chem*, 2001, 74(1): 41–46.
- [13] 张文君, 何慧, 杨尔宁, 等. SPME-GC-MS 法检测油炸藕夹挥发性风味物质[J]. *食品科学*, 2012, 33(14): 228–234.
- Zhang WJ, He H, Yang EN, *et al.* Detection of volatile flavor components in fried lotus root stuffed with meat by SPME-GC-MS [J]. *Food Sci*, 2012, 33(14): 228–234.
- [14] Jeleń H, Majcher M, Ginja A, *et al.* Determination of compounds responsible for tempeh aroma [J]. *Food Chem*, 2013, 141(1): 459–465.
- [15] Romano R, Giordano A, Le Grottaglie L, *et al.* Volatile compounds in intermittent frying by gas chromatography and nuclear magnetic resonance [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2013, 115(7): 764–773.
- [16] Reineccius G. *Flavor chemistry and technology*(second edition)[M]. Boca Raton: Taylor & Francis Routledge, 2006.
- [17] 谢婧, 徐俐, 张秋红, 等. 顶空固相微萃取法提取菜籽油挥发性风味成分[J]. *食品科学*, 2013, 34(12): 281–285.
- Xie J, Xu L, Zhang QH, *et al.* Headspace solid phase microextraction of volatile flavor components from rapeseed oil [J]. *Food Sci*, 2013, 34(12): 281–285.
- [18] 周萍萍, 黄健花, 宋志华, 等. 浓香葵花籽油挥发性风味成分的鉴定[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(14): 128–131.
- Zhou PP, Huang JH, Song ZH, *et al.* Identification of volatile flavor compounds of sunflower oil [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(14): 128–131.
- [19] Ramirez MR, Estevez M, Morcuende D, *et al.* Effect of the type of frying culinary fat on volatile compounds isolated in fried pork loin chops by using SPME-GC-MS [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(25): 7637–7643.
- [20] Frankel EN. *Lipid oxidation*(2nd edition) [M]. UK: The Oily Press, 2005.
- [21] Neff WE, Warner K, Byrdwell WC. Odor significance of undesirable degradation compounds in heated triolein and trilinolein [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2000, 77(12): 1303–1313.
- [22] Warner K, Gupta M. Potato chip quality and frying oil stability of high oleic acid soybean oil [J]. *J Food Sci*, 2005, 70(6): S395–S400.
- [23] Senthil A, Ravi R, Bhat KK, *et al.* Studies on the quality of fried snacks based on blends of wheat flour and soya flour [J]. *Food Qual Prefer*, 2002, 13(5): 267–273.
- [24] Jayendra KA, Singh RRB, Patel AA, *et al.* Kinetics of colour and texture changes in Gulabjamun balls during deep-fat frying [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2006, 39(7): 827–833.
- [25] Ravi R, Roopa BS, Bhattacharya S. Texture evaluation by uniaxial compression of some snack foods [J]. *J Texture Stud*, 2007, 38(1): 135–152.
- [26] 张素君. 关于加工工艺对油炸鸡肉产品质量的影响研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- Zhang SJ. The effects of processing technology on quality of fried chicken [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [27] 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.
- Yu XZ, Song LJ, Zhang JX, *et al.* Quality change of potato chips during frying process and their shelf life prediction [J]. *Food Sci*, 2012, 33(18): 102–107.
- [28] 颜未来. 不同加工工艺对油炸香芋片品质特性的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- Yan WL. Studies on the quality characteristics of the deep-fried fragrant taro clips by different processes [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [29] 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.
- [30] 邓云, 吴颖, 杨铭铎, 等. 煎炸油中产生的极性成分对食品微观结构和质构的影响[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(6): 160–164.
- Deng Y, Wu Y, Yang MD, *et al.* Effects of polar components in frying oil on microstructure and texture of fried food [J]. *T CSAE*, 2004, 20(6): 160–164.
- [31] Maria LP, Ribeiro CP. *Innovation in food engineering: new techniques and products* [M]. New York: CRC Press, 2009.
- [32] 范柳萍, 张愨, 肖功年, 等. 真空油炸胡萝卜脆片基本特性的研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2005, 24(6): 49–52.
- Fan LP, Zhang M, Xiao GN, *et al.* Study on the quality of vacuum-fried carrot chips [J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2005, 24(6): 49–52.
- [33] Troncoso E, Pedreschi F, Zúñiga RN. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2009, 42(1): 187–195.
- [34] 宋焕禄. *食品风味化学*[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- Song HL. *Food Flavor Chemistry* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [35] Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB, *et al.* Colour changes during deep fat frying [J]. *J Food Eng*, 2001, 48(3): 219–225.
- [36] Baik OD, Mittal GS. Kinetics of tofu color changes during deep-fat frying [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2003, 36(1): 43–48.
- [37] 王勤志, 滕建文, 王海军. 油炸过程扣肉皮褐变现象分析[J]. *食品科技*, 2013, 38(1): 150–153.
- Wang QZ, Teng HW, Wang HJ. Analysis of braised meat skin browning in frying [J]. *Food Sci Technol*, 2013, 38(1): 150–153.
- [38] Barbut S. Frying-effect of coating on crust microstructure, color, and texture of lean meat portions [J]. *Meat Sci*, 2013, 93(2): 269–274.

- [39] 余善鸣, 马兴胜, 庞文强, 等. 马铃薯在冷藏中还原糖的变化对油炸马铃薯片色泽影响的研究[J]. 冷藏技术, 1994, (1): 13-18.  
Yu SM, Ma XS, Pang WQ, *et al.* The influence on the changes of the sugar of the potatoes to the color of the deep-fat fried potato chips [J]. *Refrigeration Technol*, 1994, (1): 13-18.
- [40] Serpen A, Gökmen V. Evaluation of the Maillard reaction in potato crisps by acrylamide, antioxidant capacity and color [J]. *J Food Compos Anal*, 2009, 22(6): 589-595.
- [41] Pedreschi F, Moyano P, Kaack K, *et al.* Color changes and acrylamide formation in fried potato slices [J]. *Food Res Int*, 2005, 38(1): 1-9.
- [42] 孙真, 周光宏, 徐幸莲, 等. 油炸工艺对油炸鸡腿品质和安全性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 98-101.  
Sun Z, Zhou GH, Xu XL, *et al.* Effect of frying conditions on the quality and security of fried chicken legs [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(7): 98-101.
- [43] 李洁, 王清章, 谭正林, 等. 乳酸发酵对油炸藕片质量的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 154-157.  
Li J, Wang QZ, Tan ZL, *et al.* Effects of lactic fermentation on fried lotus root chips [J]. *Food Sci*, 2007, 28(9): 154-157.
- [44] Shyu S, Hwang LS. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips [J]. *Food Res Int*, 2001, 34(2-3): 133-142.
- [45] Mariscal M, Bouchon P. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices [J]. *Food Chem*, 2008, 107(4): 1561-1569.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



张 聪, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品加工与食品风味技术。

E-mail: zhangcong2012ky@163.com



陈德慰, 博士, 教授, 主要研究方向为水产品加工与食品风味技术。

E-mail: chendw@gxu.edu.cn