

# 深度油炸过程中油脂劣变对薯条中油脂和水分含量的影响及水分替代规律

李 良<sup>1</sup>, 于婧雯<sup>1</sup>, 廖 一<sup>1</sup>, 李 杨<sup>1,2,3</sup>, 江连洲<sup>1</sup>, 张 爽<sup>1,\*</sup>

(1.东北农业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2.哈尔滨市食品产业研究院, 黑龙江 哈尔滨 150000;

3.国家大豆工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150000)

**摘要:**为研究马铃薯条对不同油脂的吸收规律, 使用深度油炸1、3、5 d后的大豆油、油茶籽油及两种油脂不同比例调和油煎炸马铃薯条, 测定马铃薯条在油炸过程中总油脂、表面油脂、结构油脂、水分含量的变化。结果发现:对于同一种油脂来说, 马铃薯条中总油脂含量随油炸时间的延长而增加;对于各新鲜油脂处理组马铃薯条, 当油炸时间小于150 s时, 总油脂含量随油炸时间的延长而明显增加, 当油炸时间超过150 s时, 总油脂含量随油炸时间的延长变化不明显, 油炸240 s后的总油脂含量接近0.22 g/g。油脂劣变程度对油炸马铃薯条的油脂含量有明显影响, 对于相同劣变程度的油脂, 随油炸时间延长, 油脂黏度增大, 马铃薯条对油脂吸附能力增强, 表现为所有处理组马铃薯条的表面油脂含量的升高。在油炸过程中, 当油炸时间小于120 s时, 水分含量变化速率随着反复油炸时间的延长而降低;油炸150~240 s时, 总油脂含量与水分含量的比值随着油炸时间的延长差异逐渐增加, 其中在使用深度油炸3、5 d的油处理时, 油茶籽油油炸组最高。

**关键词:**深度油炸; 薯条; 劣变

Effect of Oil Deterioration during Deep Frying on Oil and Moisture Content and Moisture Substitution Pattern in French Fries

LI Liang<sup>1</sup>, YU Jingwen<sup>1</sup>, LIAO Yi<sup>1</sup>, LI Yang<sup>1,2,3</sup>, JIANG Lianzhou<sup>1</sup>, ZHANG Shuang<sup>1,\*</sup>

(1. School of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Harbin Food Industry Research Institute, Harbin 150000, China; 3. National Research Center of Soybean Engineering and Technology, Harbin 150000, China)

**Abstract:** To study the oil absorption pattern of French fries, soybean oil, camellia seed oil and their blends in different proportions were used repeatedly to fry French fries for 1, 3 and 5 d consecutively, and variations in the contents of total, surface and structural oil and water content were measured during the frying process. It was found that for each used oil, the total oil content of French fries increased with frying time, while for each fresh oil it significantly increased with frying time up to 150 s and then did not change, reaching about 0.22 g/g at 240 s. The deterioration degree of frying oil greatly affected the oil content of French fries. For each deterioration level, oil viscosity increased, and the oil absorption ability of French fries became stronger with increasing frying time, as manifested by increased surface oil content for all groups. The rate of change in moisture content declined with increasing frying time up to 120 s for the repeatedly used frying oils. There was an increasing difference in the ratio total oil to moisture content with increasing frying time from 150 to 240 s, and the highest value was observed with camellia seed oil for 3 and 5 d repeated use.

**Keywords:** deep frying; French fries; deterioration

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190521-247

中图分类号: TS215

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 11-0001-06

引文格式:

李良, 于婧雯, 廖一, 等. 深度油炸过程中油脂劣变对薯条中油脂和水分含量的影响及水分替代规律[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 1-6. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190521-247. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2019-05-21

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (31430067)

第一作者简介: 李良 (1981—) (ORCID: 0000-0003-1259-5876), 男, 副教授, 博士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。

E-mail: liliangneau@163.com

\*通信作者简介: 张爽 (1983—) (ORCID: 0000-0002-4009-3403), 女, 讲师, 博士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。

E-mail: szhang@neau.edu.cn

LI Liang, YU Jingwen, LIAO Yi, et al. Effect of oil deterioration during deep frying on oil and moisture content and moisture substitution pattern in french fries[J]. Food Science, 2020, 41(11): 1-6. (in Chinese with English abstract)  
DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190521-247. <http://www.spkx.net.cn>

油炸作为一种食物加工手段，是一种以油脂为传热介质使食物从表面到内部的热脱水以及煮制相结合的过程<sup>[1]</sup>。油炸过程不仅可使食品产生诱人的风味、金黄色的脆皮、多孔的质构以及酥脆的口感，还可加快食物的成熟，被广泛应用于油炸工业及家庭烹饪<sup>[2]</sup>。油炸食品由于具有独特的质构和诱人的风味而受到广大消费者的青睐，然而，长时间高温油炸和反复操作会导致油脂发生氧化、水解和聚合等化学反应，导致油脂颜色加深、黏度增大，氢过氧化物氧化产生的醛、酮及酸等二级氧化产物在人体难代谢，会对人体肝脏造成损害<sup>[3-6]</sup>，并会产生具有刺激性气味的挥发性物质，严重影响了油炸食品的感官性质并对人体健康产生危害<sup>[7-10]</sup>。高温下反复使用的油脂易发生酸败，感官性状发生改变，且产生刺激性气味，其中丙烯醛会强烈刺激鼻眼黏膜，易引发轻度中毒。油炸过程中产生的反式脂肪酸会提高人体患心血管疾病的风险，且易影响 $\delta$ -6脱饱和酶的功能，导致婴幼儿必需脂肪酸的缺乏，影响婴幼儿的生长发育，还可能导致血栓形成，加速动脉硬化，造成大脑功能的迅速衰退，易引发阿尔茨海默病<sup>[11-13]</sup>。油脂反复煎炸后生成的热聚合产物会妨碍人体对营养素的消化和吸收，对人体健康产生不利影响<sup>[14-16]</sup>。高蛋白油炸食品中的肌酸苷与油脂发生美拉德反应生成咪唑基和杂环胺，有研究发现杂环胺对鼠伤寒沙门氏菌有致畸性，能引起乳腺和肝部肿瘤等<sup>[17-20]</sup>。

油茶籽油是从山茶科 (*Camellia*) 油茶树种子中提取出的淡黄色澄清状油脂。我国是世界上山茶科植物分布最广的国家，也是世界上最大的油茶生产基地，主要集中在浙江、江西、湖南、广西四省，油茶种类10余种，以普通油茶 (*Camellia oleifera* Abel) 为主，占油茶种植总面积的98%<sup>[21-23]</sup>。油茶籽油中含有高达约90%的不饱和脂肪酸，有“东方橄榄油”之称，同时油茶籽油中含有角鲨烯、VA、VD、VE和VK等微量成分<sup>[24]</sup>，具有抗癌、降低低密度脂蛋白、抗缺氧、抗疲劳、提高人体免疫力及增进胃肠道吸收等功能<sup>[25]</sup>。油茶籽油因其较高的营养价值，日益受到消费者的重视，也成为科学的新热点。

本实验结合实际生产及家庭烹饪情况，通过利用油茶籽油调和大豆油以提高大豆油油炸稳定性，对马铃薯进行深度油炸过程中劣变油脂影响煎炸食品油脂吸收的规律及机制进行了深入研究，以为生产加工过程油脂品质劣变的检测及有毒油炸食品中油脂的吸收量控制提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

市售马铃薯；一级大豆油 黑龙江省九三集团有限责任公司；油茶籽油 浙江久晟茶业有限公司；苏丹红、尼罗红、分子质量测定的标准品 美国Sigma公司；过氧化氢、三氯化铁 天津市天力化学试剂有限公司；其他分析纯试剂均购于天津市富宇精细化工有限公司。

### 1.2 仪器与设备

油炸锅 广东容声电器有限责任公司；RE-52旋转蒸发仪 上海盛玻仪器有限公司；Allegra64R台式高速冷冻离心机 美国贝克曼公司；PHSJ-4A型实验室pH计 上海仪电科学仪器股份有限公司；MC-EF197多功能电磁炉 广东美的生活电器制造有限公司；DK-98-1型电热恒温水浴锅 天津市泰斯特仪器有限公司；TU-1800 紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司；电子分析天平 (0.000 1 g) 北京赛多利斯仪器系统有限公司；AL204型分析天平 梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；KQ-500B型容器式超声波仪 昆山市超声仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 马铃薯条的制备

4 ℃贮藏的新鲜马铃薯经去皮、清洗、擦干后，利用圆柱形模具制备直径1 cm、长5 cm的马铃薯条。

#### 1.3.2 调和油的制备

将大豆油 (soybean oil, SO) 与油茶籽油 (camellia seed oil, CO) 按不同体积比90:10 (SCO1)、70:30 (SCO3)、50:50 (SCO5) 混合均匀。

#### 1.3.3 煎炸处理

将3 L SO、CO和不同比例调和油分别倒入油炸锅中，并调节加热温度旋钮至180 ℃。待温度升高至180 ℃时，准确称取100 g新鲜马铃薯条 (1 cm×5 cm) 放入油炸锅不锈钢筛网中，煎炸3 min后捞出，间隔5 min后进行下一批次薯条的油炸，每天油炸30批次获得深度煎炸1、3 d以及5 d的油脂。研究油脂吸收和分布规律时，煎炸薯条的时间分别为30、60、90、120、150、180、210、240 s，取出后立刻浸入石油醚中，待测定各指标。

#### 1.3.4 总油脂含量的测定

总油脂含量依据GB/T 5009.6—2003《食品中粗脂肪的测定》中的方法测定，单位为g/g。

#### 1.3.5 表面油脂含量的测定

表面油脂含量的测定参照Tarmizi等<sup>[26]</sup>的方法并稍加

改动。在室温下,将油炸一定时间的薯条在含有150 mL石油醚的烧杯中漂洗1 s,将得到的溶液移入250 mL已烘干并称质量的圆底烧瓶中,旋转蒸发仪上蒸干溶剂,并在105 ℃烘箱中烘至恒质量,差量法计算表面油脂含量。

### 1.3.6 结构油脂含量的测定

结构油脂含量的测定参照Tarmizi等<sup>[26]</sup>的方法。马铃薯条油炸后立即浸入石油醚中,按下式计算结构油脂含量。

$$\text{结构油脂含量/(g/g)} = \text{总油脂含量/(g/g)} - \text{表面油脂含量/(g/g)}$$

### 1.3.7 水分含量的测定

水分含量的测定参考GB 5009.3—2010《食品安全国家标准 食品中水分的测定》。

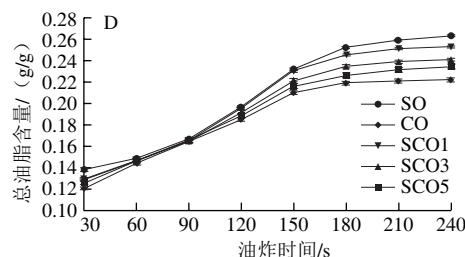
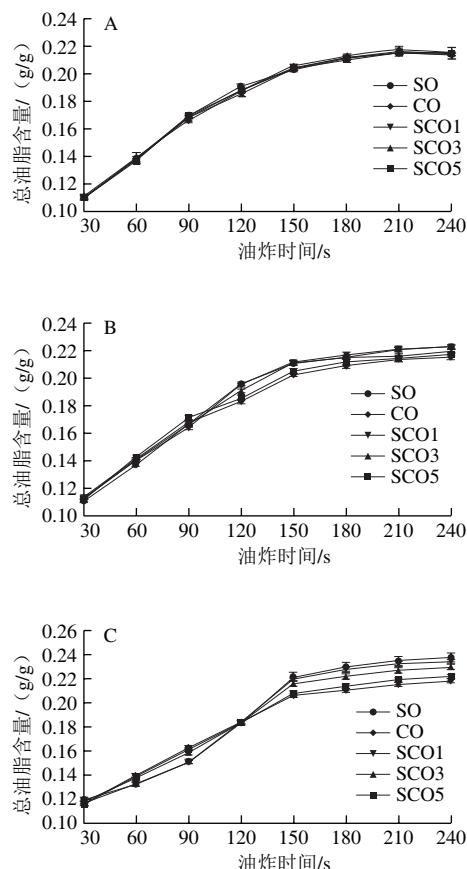
## 1.4 数据统计与分析

结果以3个平行实验的平均值±标准差形式表示,数据统计分析利用SPSS 19.0软件,采用SigmaPlot 10.0软件和Origin 8.5软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 深度油炸过程中油脂劣变对薯条中油脂含量及分布的影响

#### 2.1.1 总油脂含量



A.新鲜油脂; B.深度油炸1 d; C.深度油炸3 d; D.深度油炸5 d。下同。

图1 油炸时间及不同劣变程度油脂对马铃薯条油炸过程中总油脂含量的影响  
Fig. 1 Effect of frying time and deterioration degree of frying oil on total oil content of French fries

如图1A所示,新鲜SO、CO、SCO1、SCO3和SCO5油炸马铃薯条中总油脂含量无明显差异,均随油炸时间的延长而增加。当油炸时间小于150 s时,各组马铃薯条的总油脂含量随油炸时间的延长而明显增加,当油炸时间超过150 s时,马铃薯中的总油脂含量随油炸时间的延长变化不明显,5个油炸组马铃薯条被油脂油炸240 s后的总油脂含量接近0.22 g/g。说明对新鲜油脂来说,油脂种类对马铃薯条总油脂含量无明显影响。

从图1B可看出,使用深度油炸1 d的5种油脂油炸马铃薯条时间小于90 s时,马铃薯条中总油脂含量与新鲜油脂油炸的无明显差异,且各油炸组油脂含量也无明显差异;然而当油炸时间超过90 s时,马铃薯条中总油脂含量产生明显变化,其中SO和SCO1油炸组马铃薯条的总油脂含量明显高于其他油脂油炸组,CO和SCO5油炸组马铃薯条的总油脂含量最低。

从图1C可看出,对于深度油炸3 d的实验组,马铃薯条中总油脂含量随油炸时间的延长而明显增加。当油炸时间小于90 s时,SO、SCO1和SCO3油炸组的马铃薯条总油脂含量变化速率低于CO和SCO5油炸组,原因可能是劣变3 d的SO油炸组油脂的黏度显著增加,SO、SCO1、SCO3油炸组中的SO占比较高,所以含量变化速率低于CO和SCO5油炸组<sup>[27]</sup>。当油炸时间超过120 s时,各组马铃薯条中的总油脂含量变化变缓,与深度油炸1 d组相同,但变化程度增大。

从图1D可看出,对于深度油炸5 d组的马铃薯条,煎炸30 s时马铃薯条中总油脂含量明显高于新鲜油脂和深度油炸1、3 d油脂组,原因可能是相对其他组,深度油炸5 d的油脂劣变程度加剧,黏度升高导致该组马铃薯条油脂含量变化速率降低,且马铃薯条表面会吸附更多的油脂,结果使总油脂含量增多<sup>[28]</sup>。

上述结果表明,油炸相同时间时,使用油的油脂劣变程度越大,马铃薯条中总油脂含量越高。对于同一劣变程度的不同油脂来说,SO油炸组中马铃薯条的总油脂含量最高,主要原因是由于SO油炸组在劣变过程中,黏度较其他油脂组明显升高,可吸附在马铃薯条表面的油

脂较多。由于CO黏度低于SO,因此油炸稳定性较高的CO油炸组表现出的吸附能力较差,马铃薯条中总油脂含量最低。随着马铃薯条油炸时间的延长,所用油的劣变程度提高,对于使用相同深度油炸时间油的马铃薯,其总油脂含量升高,充分说明油脂劣变可使马铃薯总油脂含量升高。

### 2.1.2 结构油脂含量

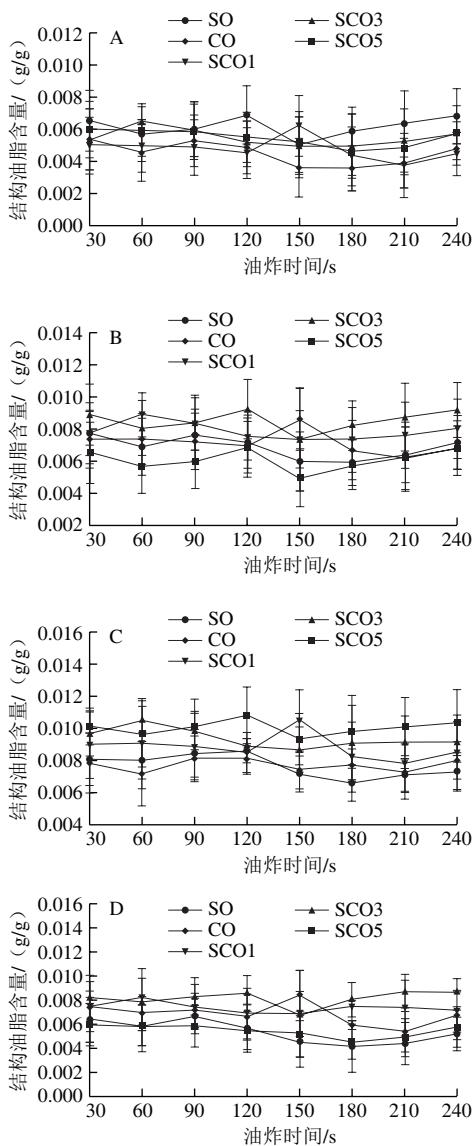


图2 油炸时间及不同劣变程度油脂对马铃薯条油炸过程中结构油脂含量的影响

Fig. 2 Effect of frying time and deterioration degree of frying oil on structural oil content of French fries

如图2A~D所示,对于相同深度油炸时间(即劣变程度相同)的5种油脂油炸组马铃薯条间的结构油脂含量无明显差异,且劣变程度的增加导致马铃薯条中结构油脂含量的明显增加,结构油脂的含量不足总油脂含量的5%,说明在油炸过程中,仅有质量分数不到5%的马铃薯总油脂进入到马铃薯条内部,说明油脂的吸收并不是发生在油

炸阶段,可能是由于油炸过程中,马铃薯条中水分大量蒸发,产生蒸汽压阻碍了油脂进入马铃薯内部<sup>[29]</sup>。

### 2.1.3 表面油脂含量

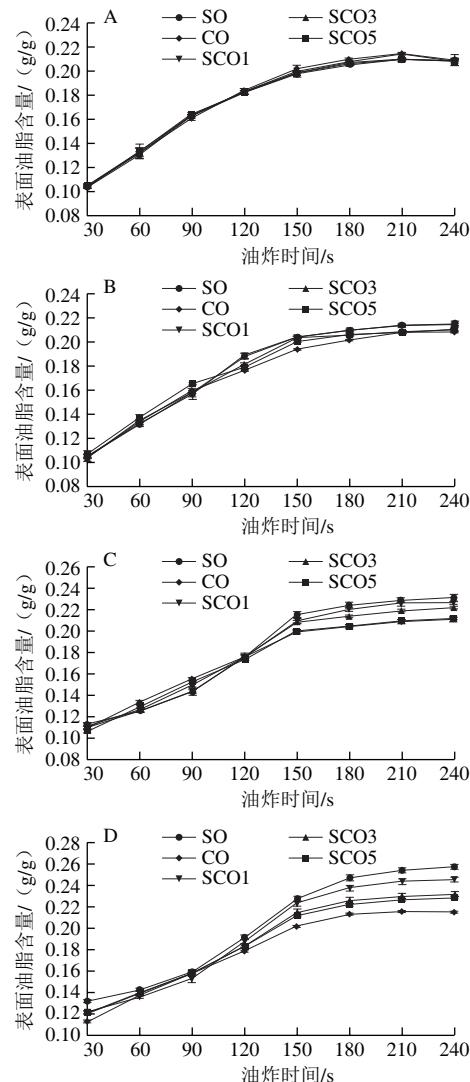


图3 油炸时间及不同劣变程度油脂对马铃薯条油炸过程中表面油脂含量的影响

Fig. 3 Effect of frying time and deterioration degree of frying oil on surface oil content of French fries

如图3A~D所示,相同劣变程度的5种油脂油炸组马铃薯条的表面油脂含量变化趋势与总油脂含量变化趋势相似,且表面油脂含量占总油脂含量的90%以上,结合结构油脂含量的变化,充分说明油炸过程中,油脂仅吸附在马铃薯的表面,对于相同劣变程度的油脂,随油炸时间延长,油脂黏度增大,马铃薯条对油脂吸附能力增强,表现为所有处理组马铃薯条的表面油脂含量的升高。对于使用深度油炸3 d和5 d油的马铃薯条,SO油炸组的表面油脂含量均高于其他种类油脂处理组,这可能是由于SO油脂黏度增加程度最高,马铃薯条的表面油脂含量升高<sup>[27]</sup>。

## 2.2 深度油炸过程中油脂劣变对马铃薯条中水分含量的影响

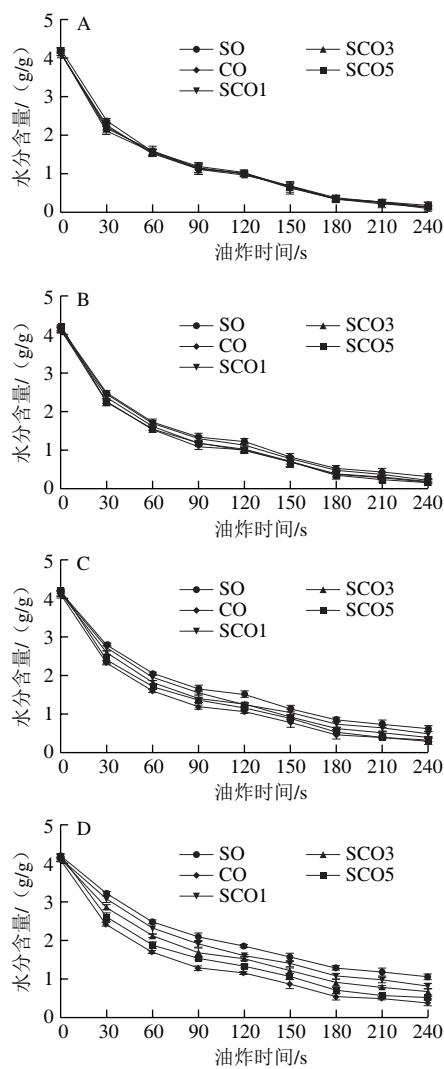


图4 油炸时间及不同劣变程度油脂对马铃薯条油炸过程中水分含量的影响

Fig. 4 Effect of frying time and deterioration degree of frying oil on water content of French fries

在油炸过程中，可观察到不同组马铃薯条中的水分含量先迅速下降后变化不明显，说明水分的变化包括迅速蒸发阶段和缓慢蒸发阶段。如图4A所示，对于用不同种类的新鲜油脂进行油炸的马铃薯条，水分含量也无明显差异。由图4B~D可知，不同劣变程度油脂处理组马铃薯的水分含量不同。当油炸时间小于120 s时，马铃薯条中水分含量变化速率随着所用油深度油炸时间的延长而降低。油炸240 s后，各劣变油脂油炸的马铃薯条中的水分含量不同，新鲜油脂和深度油炸1 d油脂处理组马铃薯条中最终的水分含量接近0，但深度油炸3 d和5 d的油脂未使土豆条中水分含量达到0，充分说明油脂劣变影响了马铃薯条中水分的蒸发，根本原因是随着所使用油的

劣变程度增加，油脂黏度增加，导致油脂和物料间热转移效率降低<sup>[30]</sup>，因此水分蒸发速率降低。

## 2.3 深度油炸过程中油脂水分替代规律

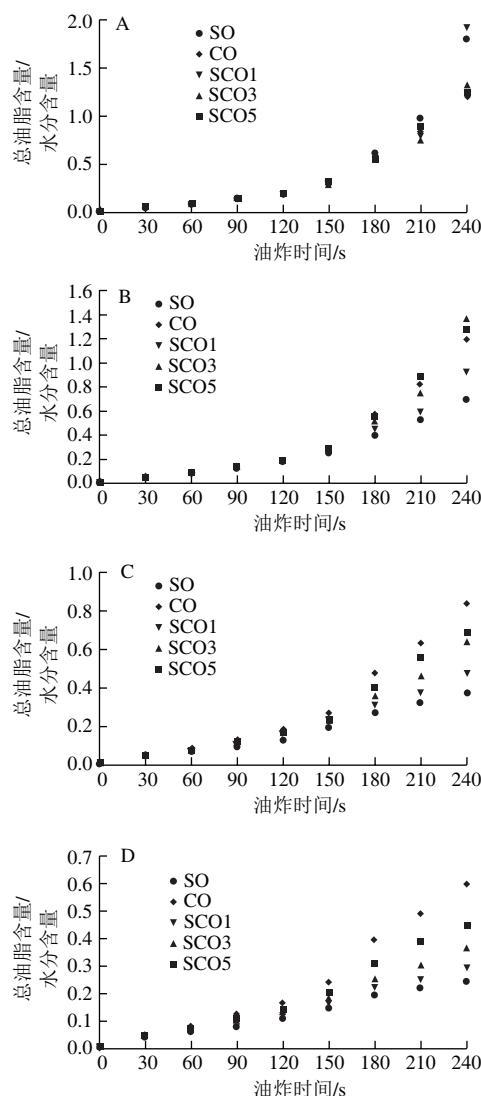


图5 油炸时间及不同劣变程度油脂对马铃薯条油炸过程中油脂和水分替代的影响

Fig. 5 Effect of frying time and deterioration degree of frying oil on total oil/moisture content ratio in French fries

根据马铃薯条中油脂和水分含量的变化规律发现，水分蒸发会使马铃薯条表面形成大量气孔，增加油脂在物料表面的吸附，水分蒸发越多，产生的气孔越多，吸附的油脂也越多<sup>[31]</sup>。在油炸过程中，马铃薯中水分不断蒸发，并不断吸附油脂，在油脂和物料之间形成了质量转移现象。从图5A~D可看出，对于不同种类油脂处理组的马铃薯条，随着油炸时间的延长，总油脂含量与水分含量比值的差异逐渐增加，其中在使用深度油炸3、5 d的油处理时，随着油炸时间延长，各组比值差距逐渐增加，在油炸150 s后，马铃薯条总油脂含量与水分含量的

比值从大到小依次为: CO油炸组>SCO5油炸组>SCO3油炸组>SCO1油炸组>SO油炸组。

### 3 结 论

所用油的劣变程度对马铃薯条中总油脂含量及表面油脂含量有明显影响, 对渗入油脂含量影响不明显, 油炸过程中油脂大部分吸附在马铃薯条表面, 约占总油脂含量的90%。当油炸时间小于120 s时, 随着所用油的深度油炸时间的延长, 马铃薯条中水分含量变化速率降低, 且水分缓慢蒸发阶段延后, 油炸240 s后, 新鲜油脂和深度油炸1 d的油脂油炸的马铃薯条中最终的水分含量接近0, 但深度油炸3 d和5 d的油脂未使土豆条中水分达到0, 充分说明油脂劣变影响了马铃薯条中水分的蒸发。在使用深度油炸3、5 d的油处理时, 在油炸150 s后, 马铃薯条总油脂含量与水分含量的比值从大到小依次为: CO油炸组>SCO5油炸组>SCO3油炸组>SCO1油炸组>SO油炸组。

### 参考文献:

- [1] 王娟, 徐桂花. 油炸食品安全性分析及对策措施[J]. 中国食物与营养, 2006(4): 58-60. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2006.04.020.
- [2] KOH S, ARIFIN N, TAN C, et al. Deep frying performance of enzymatically synthesized palm-based medium- and long-chain triacylglycerols (MLCT) oil blends[J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(1): 124-135. DOI:10.1007/s11947-008-0138-y.
- [3] MINIHANE A, HARLAND J. Impact of oil used by the frying industry on population fat intake[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007, 47(3): 287-297. DOI:10.1080/10408390600737821.
- [4] MESTDAGH F, DE MEULENAER B, VAN PETEGEM C. Influence of oil degradation on the amounts of acrylamide generated in a model system and in French fries[J]. Food Chemistry, 2007, 100(3): 1153-1159. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.11.025.
- [5] 邓云, 杨铭铎, 李健, 等. 油炸中油脂极性成分的产生对食品品质的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2004(6): 49-54. DOI:10.3321/j.issn:1000-565X.2004.06.012.
- [6] ABIDI S, WARNER K. Molecular-weight distributions of degradation products in selected frying oils[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2001, 78: 763-769. DOI:10.1007/s11746-001-0339-3.
- [7] MARMESAT S, RODRIGUES E, VELASCO J, et al. Quality of used frying fats and oils: comparison of rapid tests based on chemical and physical oil properties[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2007, 42(5): 601-608. DOI:10.1111/j.1365-2621.2006.01284.x.
- [8] LIN J S, CHUANG K T, HUANG M S, et al. Emission of ethylene oxide during frying of foods in soybean oil[J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(4): 568-574. DOI:10.1016/j.fct.2006.10.002.
- [9] ESTELA E, ALVAREZ D, ELENA S. Comparison of the stability of palm olein and a palm olein/canola oil blend during deep-fat frying of chicken nuggets and French fries[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46(6): 1231-1237. DOI:10.1111/j.1365-2621.2011.02627.x.
- [10] ABBAS ALI M, BAMALLI NOURUDDINE Z, MUHAMAD I, et al. Effect of palm olein addition on the quality characteristics of sunflower oil during deep fat frying[J]. Acta Alimentaria, 2014, 43(2): 288-296.
- [11] 苏宗祧, 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] GERDE J A, HARDY C L, HURBURGH C R, et al. Rapid determination of degradation in frying oils with near-infrared spectroscopy[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2007, 84(6): 519-522. DOI:10.1007/s11746-007-1068-y.
- [13] BRANNAN R G, MAH E, SCHOTT M, et al. Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2014, 116(3): 240-254. DOI:10.1002/ejlt.201200308.
- [14] HOU J C, JIANG L Z, ZHANG C W. Effects of frying on the trans-fatty acid formation in soybean oils[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2012, 114: 287-293. DOI:10.1002/ejlt.201100103.
- [15] GENCE E, YILMAZ E, AKYURT I. Effects of dietary fish-oil, soy-acid oil, and yellow grease on growth and hepatic lipidosis of hybrid tilapia fry[J]. Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 2005, 57(2): 90-96. DOI:10.1016/j.icesjms.2004.12.020.
- [16] ZHOU H R, JIN Q Z, WANG X G, et al. Effects of temperature and water content on the formation of 3-chloropropane-1,2-diol fatty acid esters in palm oil under conditions simulating deep fat frying[J]. European Food Research and Technology, 2014, 238: 495-501. DOI:10.1007/s00217-013-2126-3.
- [17] LATHA R B, NASIRULLAH D R. Physico-chemical changes in rice bran oil during heating at frying temperature[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(2): 335-340. DOI:10.1007/s13197-011-0495-9.
- [18] ROMANO R, MANZO N, LE G L, et al. Comparison of the frying performance of high oleic oils subjected to discontinuous and prolonged thermal treatment[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2013, 90(7): 965-975. DOI:10.1007/s11746-013-2238-8.
- [19] RAVELLI D, MATSUOKA C, DELLA M, et al. Determination of deep frying soybean oil disposal point by a sensory method[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2010, 87(5): 515-520. DOI:10.1007/s11746-009-1524-y.
- [20] JOSHI H, MOSER B R, TOLER J, et al. Preparation and fuel properties of mixtures of soybean oil methyl and ethyl esters[J]. Biomass and Bioenergy, 2010, 34: 14-20. DOI:10.1016/j.biombioe.2009.09.006.
- [21] DUNCAN A M, AHOSSEINI A, MCHENRY R, et al. High-pressure viscosity of biodiesel from soybean, canola, and coconut oils[J]. Energy & Fuels, 2010, 24(5): 5708-5716. DOI:10.1021/ef100382f.
- [22] JOSHI H, MOSER B, TOLER J, et al. Preparation and fuel properties of mixtures of soybean oil methyl and ethyl esters[J]. Biomass & Bioenergy, 2010, 34: 14-20. DOI:10.1016/j.biombioe.2009.09.006.
- [23] SU M H, SHIH M C, LIN K H. Chemical composition of seed oils in native Taiwanese *Camellia* species[J]. Food Chemistry, 2014, 156: 369-373. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.02.016.
- [24] SERIN H, AKAR N Y. The performance and emissions of a diesel engine fueled with tea seed (*Camellia sinensis*) oil biodiesel-diesel fuel blends[J]. International Journal of Green Energy, 2014, 11(3): 292-301. DOI:10.1080/15435075.2013.773434.
- [25] RUAN X, ZHU X M, XIONG H, et al. Characterisation of zero-trans margarine fats produced from camellia seed oil, palm stearin and coconut oil using enzymatic interesterification strategy[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49(1): 91-97. DOI:10.1111/ijfs.12279.
- [26] TARMIZI A H, NIRANJAN K. Combination of moderate vacuum frying with high vacuum drainage: relationship between process conditions and oil uptake[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6: 2600-2608. DOI:10.1007/s11947-012-0921-7.
- [27] TOTANI N, TATEISHI S, CHIUE H, et al. Color and chemical properties of oil used for deep frying on a large scale[J]. Journal of Oleo Science, 2012, 61: 121-126. DOI:10.5650/jos.61.121.
- [28] VIEITEZ I, CALLEIAS N, IRIGARAY B, et al. Acid value, polar compounds and polymers as determinants of the efficient conversion of waste frying oils to biodiesel[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2014, 91: 655-664. DOI:10.1007/s11746-013-2393-y.
- [29] 张小燕, 赵凤敏, 兴丽, 等. 不同马铃薯品种用于加工油炸薯片的适宜性[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 276-283. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2013.08.033.
- [30] FEÁS X, ESTEVINHO L, SALINERO C, et al. Triacylglyceride, antioxidant and antimicrobial features of virgin *Camellia oleifera* *C. reticulata* and *C. sasanqua* oils[J]. Molecules, 2013, 18: 4573-4587. DOI:10.3390/molecules18044573.
- [31] LONG Q Z, HUANG Y H, ZHONG H Y, et al. The quality and volatile-profile changes of camellia oil (*Camellia oleifera* Abel) following bleaching[J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2008, 110(8): 768-775. DOI:10.1002/ejlt.200700271.