

油炸温度与时间对白公干鱼传质特性及品质的影响

Effects of frying temperature and time on mass transfer and quality of White Business fish

陈康明^{1,2,3}刘晓丽^{1,2,3}许艳顺^{1,2,3}夏文水^{1,2,3}CHEN Kang-ming^{1,2,3}LIU Xiao-li^{1,2,3}XU Yan-shun^{1,2,3}XIA Wen-shui^{1,2,3}

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122;

3. 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏 无锡 214122)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

3. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province,

Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:以白公干鱼为研究对象,探究不同油炸温度(160, 180, 200 °C)和油炸时间(0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 180 s)对白公干鱼水分损失和吸油率的影响,采用特定指数方程对油炸过程中的传质动力学进行曲线拟合;测定油炸后白公干鱼水分活度,建立水分活度与水分含量的关系;测定油炸后白公干鱼色泽、硬度、咀嚼性、表层硬度、韧性,并进行感官品质分析。结果表明:油炸温度的升高可显著增大白公干鱼的水分损失速率和吸油速率,且拟合曲线均符合特定指数方程;白公干鱼水分含量和水分活度呈正相关性,并分为两个区域:水分含量<22%时水分活度随水分含量的增加而快速增大,水分含量>22%时水分活度随水分含量的增加而趋于平缓;结合企业生产经验和感官品质分析,油炸后白公干鱼水分含量控制在22%~26%为宜,达到此水分含量且吸油率最低的加工条件为180 °C油炸180 s。

关键词:白公干鱼;油炸;传质动力学;水分含量;含油率

Abstract: Taking the White Business fish as the research object, explored effects of different frying temperature (160, 180 and 200 °C) and frying time (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 150 and

180 s) to moisture loss of White Business fish and oil absorption rate. Used specific exponential equation of mass transfer in the process of fried dynamics for curve fitting. At the same time, the water activity of White Business fish after frying was measured, and the relationship between water activity and water content was established. The color, hardness, chewiness, surface hardness and toughness of fried White Business fish were measured. The results showed that the rate of water loss and oil absorption of White Business fish were significantly increased with the increase of frying temperature, with a great positive correlation between water content and water activity of White Business fish, which can be divided into two areas: when water content was lower than 22%, water activity increases rapidly with the increase of water content; when water content was higher than 22%, water activity tends to be flat with the increase of water content. Combined with the experience of production and the analysis of sensory quality, it is advisable to control the water content of the White Business fish after frying at 22%~26%. The condition that the water content of the dried fish can reach this level and the lowest oil absorption rate under the experimental frying temperature is 180 s fried at 180 °C.

Keywords: White Business fish; fried; mass transfer kinetics; moisture content; oil length

基金项目:国家自然科学基金(编号: NSFC 31700709); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(编号: JUSRP11903); 国家食品科学与工程一流学科建设项目(编号: JUFSTR20180201); 国家大宗淡水鱼产业技术体系项目(编号: CARS-45-26)

作者简介:陈康明,男,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:夏文水(1958—),男,江南大学教授,博士,

E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2019-12-11

公干鱼属海生鱼类,是一种盛产于中国广西及越南等沿海地区的水产小鱼仔,分为尖头(青公干鱼)和圆头(白公干鱼),其具有蛋白质含量高、脂肪含量少、口感好和营养丰富等特点^[1]。白公干鱼一般为3~7 cm,通常将

其作为原料加工成休闲类产品而深受消费者青睐。加工过程中,通过油炸工艺不仅可改善产品外观、颜色,还可使其更加酥脆可口,增进食欲^[2]。长期摄取油炸类食品会引起肥胖、高血脂症和导致各种心血管疾病^[3-4]。因此,如何在保证产品品质和感官特性的前提下,获得进一步降低油炸后白公干鱼吸油量的方法,从而提高油炸休闲鱼类食品的健康性,已成为目前研究油炸休闲鱼类产品的一大热点^[5]。

目前,油炸过程中的传质动力学研究主要集中于外裹糊食品^[6-8],而对直接油炸此类小鱼仔的传质动力学研究还未见报道。试验拟以白公干鱼为原料,研究不同油炸温度和时间对其水分含量和吸油量的影响,同时采用特定指数方程对油炸过程中的相关动力学过程进行曲线拟合,进一步探讨油炸温度和时间对白公干鱼油炸过程中水分损失和吸油量增加的影响机制。通过检测不同油炸条件下白公干鱼的色泽和质构变化,并结合感官评定筛选出白公干鱼的最适油炸条件,为企业生产提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白公干鱼:湖南华文有限公司;

一级大豆油:中粮食品营销有限公司;

石油醚:沸程 30~60 °C,分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

搪瓷内胆电炸锅:DF25A 型,广东斯乐得有限公司;

电热鼓风干燥箱:DHG-9070 型,德国 Binder 公司;

水分活度仪:Lab Swift-aw 型,瑞士 Novasina 公司;

自动索氏抽提仪:C3AL-01 型,上海洪记仪器设备有限公司;

物性分析仪:TA-XT2i 型,英国 Stable Micro 公司;

色彩色差计:CR-400 型,日本 ONICA MINOLTA 株式会社;

电子天平:AX224ZH/E 型,常州奥豪斯仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

冷冻白公干鱼→自来浸泡解冻、脱盐→沥水、自然风干→油炸→自然冷却→装处自封袋备用

(1) 冷冻白公干鱼:将原料盐渍去头,贮藏于-18 °C 冰箱,使用时按需取出。

(2) 自来水浸泡解冻、脱盐:根据合作企业前期生产经验,按原料白公干鱼体:自来水=1:5 (g/mL) 浸泡 10 h 可有效脱盐复水,此时白公干鱼体初始水分含量为(66.1±2.0)%。

(3) 沥水、自然风干:将浸泡水及水中的悬浮杂质倒出,将白公干鱼体平铺于金属细网丝上,自然风干至鱼体表面无明显附着水滴。

(4) 油炸:向 2.5 L 搪瓷内胆电炸锅内倒入新鲜一级大豆油约 2 L,使得油刚好到达电炸锅内最低刻度线位置,旋转指针至指定温度进行预热并用温度计进行验证,保证油体温度控制在指定温度±1 °C。剔除少数明显偏大或偏小的白公干鱼体,挑选长×宽×厚为(57.8~60.8) mm×(11.6~13.8) mm×(6.6~7.0) mm 的鱼体 100 g 使其平铺于筛缸内,并用秒表准确计时。每次煎炸完后立即将油位补充至最低刻度线,以保证料液比的恒定。

(5) 自然冷却及装入自封袋备用:煎炸完即刻取出,在筛缸内自然冷却至表面不再滴油,装入自封袋中备用。

1.3.2 水分含量及水分活度的测定 按 GB 5009.3—2016 执行。

1.3.3 油脂含量的测定 按 GB 5009.6—2016 执行。

1.3.4 传质动力学研究 油炸过程中水分含量的蒸发和含油率的吸收实质是扩散控制过程,水分扩散过程的推导式如式(1)所示。

$$\frac{\partial}{\partial L} \left[D_{eff} \frac{\partial(M)}{\partial L} \right] = \frac{\partial(M)}{\partial t} \quad (1)$$

假设最初试验样品的水分和温度分布均匀、传质过程发生于样品的两面,并且这种样品可看成是无限小的平板^[9]。可将式(1)表达为:

$$M_r = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{e^{\left[\frac{(-2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right]}}{(2n+1)^2} \quad (2)$$

当油炸过程达到平衡状态时,水分含量一般很小,可忽略不计,即 $M_e = 0$,则式(2)可表达为:

$$M_r = \frac{M}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} e^{\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right)} = \frac{8}{\pi^2} e^{-kt} \quad (3)$$

式中:

M —— t 时刻水分含量,%;

M_0 ——初始水分含量,%;

M_r ——水分含量比;

M_r' ——平衡时水分含量比;

L_r ——样品厚度的 1/2,m;

k ——速率常数, s^{-1} ;

D ——有效水分扩散率, m^2/s ;

t ——油炸时间,s。

油炸是脱水 and 吸油同时发生的过程,包括传热和传质两个部分。传质过程除了水分蒸发还有吸油量的增加,Krokida 等^[10]提出采用一级动力学方程来描述油炸过程中的油脂吸收:

$$F_c = O_{eq} (1 - e^{-kt}) \quad (4)$$

式中:

F_c ——瞬时吸油量,%;

O_{eq} ——最大吸油量,%;
 k ——油脂吸收的传质系数, s^{-1} 。

1.3.5 色泽的测定 采用 CR-10 微型色差分析仪对油炸后白公干鱼进行色差测定,每个测定取 3 块鱼干,测定鱼身中心处的 L^* 、 a^* 、 b^* 值(L^* 为亮度值; a^* 为红值; b^* 为黄值)。并以浸泡后沥干的白公干鱼体颜色为对照,计算不同条件油炸后白公干鱼的 ΔE 值。

1.3.6 质构的测定

(1) 硬度和咀嚼性:采用 TAXT Plus 型质构仪,P/35 平底柱形探头,选择 TPA 测量模式,测试前、中、后速度均为 1 mm/s,触发点负载 5 g,测试形变量 80%,两次测定时间间隔 5 s。每个处理测试 3 块,每块鱼干取鱼身中心点。

(2) 表层硬度和韧性:采用 TAXT Plus 型质构仪,P/5 单刀剪切形探头,选择 Compression 测量模式,测试速度 1 mm/s,触发点负载 5 g,测试形变量 90%。每个处理测试 3 块,每块鱼干取鱼身中心点。

1.4 数据处理

试验均重复 3 次,用(平均数±均方差)表示。采用 Excel 2007 软件进行数据分析,并用 OringinPro 8.5 软件进行非线性或线性拟合。

2 结果与分析

2.1 油炸时间、温度对白公干鱼水分损失量的影响

2.1.1 水分含量对其感官性质的影响 由表 1 可知,当水分含量为 24% 时,油炸后白公干鱼具有最好的品质。产品水分含量大,鱼干表面潮湿且没有油炸食品特有的风味、质地较软且易变质;产品水分含量低,鱼干颜色变焦变暗,外形严重收缩并失去鱼肉特有的肉质感,变得酥脆、坚硬。与孙洋等^[11]的结论不一致,可能是白公干鱼属于休闲小鱼干,消费者对油炸风味的要求高于对肉质的要求,并且原料是盐渍后复水导致其初始水分含量低于新鲜鱼体,此外,企业生产对保藏性的要求更高。

2.1.2 水分含量的变化 由图 1 可知,白公干鱼的水分损

表 1 油炸至不同水分含量的白公干鱼体的感官描述

Table 1 Sensory description of White Business fish fried to different moisture content

水分含量/%	外观形态	口感
44	鱼体略微发白,表面较湿,容易松散	肉质松软,无嚼劲
34	鱼体稍成红棕色,块形较完整	肉质稍软,较有嚼劲
24	鱼体成红棕色,块形完整,不易松散	肉质适中,有嚼劲
14	鱼体略微发暗,块形严重收缩,较干瘪	无肉质感,变的酥脆、坚硬

失随煎炸时间的增加而增大,水分损失速率由大变小,且同等条件下油炸温度越高水分损失量越大,由于油脂温度越高传热效果越好,白公干鱼浸在热油中其表面水分不断蒸发,首先引发潮湿鱼体表面水分受热后蒸发,而后水蒸气从鱼体表面向周围油脂扩散,此时表面湿含量低于鱼体中心处,出现水分含量差异(即传质推动力是水分梯度)。所以鱼体中高水分区水分子向低水分区扩散或转移(导湿现象)。另一方面,油炸温度过高会使鱼肉中的肌原纤维蛋白发生部分变性、缩短和聚集,肌球蛋白纤维和肌动蛋白纤维间空隙减小,肉的持水力降低,导致鱼肉的持水力降低^[12]。当水分含量为 24% 时,油炸后白公干鱼具有最好的品质,可接受的水分含量为 22%~26%,高于此范围,产品将缺乏油炸食品特有的风味、质地且易变质,低于此范围,产品口感太干瘪、太脆、出品率低。160℃油炸 180 s 时,水分含量为 40.3%,仍达不到低水分含量的要求,因此,若要达到煎炸小鱼干水分含量的要求,200,180℃下需分别油炸 100,180 s。研究^[13-14]表明,油炸至同等水分条件下低温长时油炸可能对食物的营养组成破坏更小,结合实际生产,建议采用 180℃下油炸 180 s 为宜。

2.1.3 水分蒸发动力学模拟 根据菲克第二定律 $M_t = \frac{M}{M_o} = \frac{8}{\pi^2} e^{-kt}$ 进行初步模拟,发现拟合度并不高。这是由于菲克第二定律做了几个理想化的假设,然而实际的煎炸食品呈不规则状。

为了更好地拟合曲线,将方程设为 $M = ae^{-kt}$,得到更符合实际的拟合曲线,最终模拟出不同油炸温度下,白公干鱼水分含量随油炸时间的拟合曲线:

(1) 200℃: $M = 66.29e^{-10.38 \times 10^{-3}t}$ ($R^2 = 0.9823$), (5)

(2) 180℃: $M = 68.40e^{-6.13 \times 10^{-3}t}$ ($R^2 = 0.9888$), (6)

(3) 160℃: $M = 64.35e^{-2.95 \times 10^{-3}t}$ ($R^2 = 0.9280$), (7)

式中:

M ——水分含量,%;
 t ——煎炸时间,s;
 k ——水分扩散系数, s^{-1} 。

200,180,160℃下对应的 k 值分别为 10.38×10^{-3} , 6.13×10^{-3} , $2.95 \times 10^{-3} s^{-1}$ 。如具有较高的 k 值,说明相对应的水分扩散速率较快。因此,200℃下具有最高的水分扩散速率。

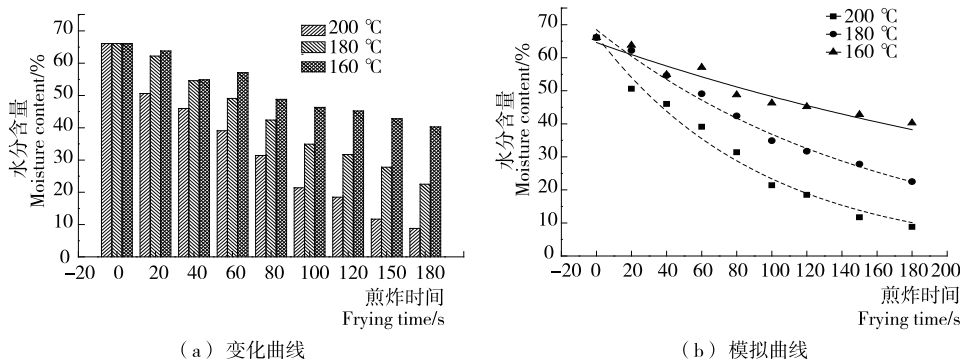


图 1 3 种油炸温度下白公干鱼的水分含量随煎炸时间变化及其模拟曲线

Figure 1 The variation of water content of White Business fish with frying time and its simulation curve under three frying temperatures

2.1.4 水分含量和水分活度的关系 由图 2 可知,当油炸白公干鱼水分含量 $>22\%$ 时,相应的水分活度 >0.85 ,随着水分含量的增加,水分活度的增长速率较慢,初始未油炸白公干鱼(水分含量 66%)水分活度最高(0.965),相对于 44% 的水分含量增加量增加了 0.115 的水分活度。鱼肉细胞体系中体相水由于受到物理截留而使宏观流动受到阻碍,但其他方面的性质类似于自由水,可以被冻结并且易被脱水除去^[15]。当油炸小鱼干水分含量 $<22\%$ 时,水分活度随水分含量的减少而大幅度降低,呈现一个突变的陡峭曲线。 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下煎炸 180 s 时,水分含量达到 8.8% ,其水分活度仅为 0.386 ,相对于 13.2% 的水分含量减少量减小了 0.464 的水分活度。由于此时的水类似于多层水吸附,通过氢键与相邻的溶质分子和水分子缔合,且流动性不如体相水,表现为大部分在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 不能结冰^[15]。此外,在实际生产中,可以快速高效地对水分活度进行实时监测,更具时效性。

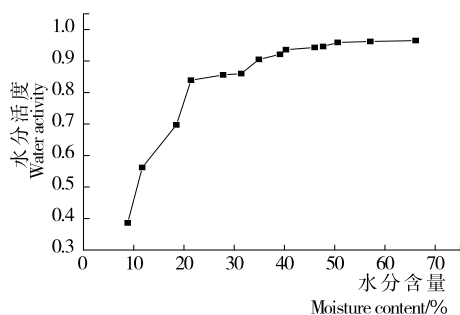


图 2 油炸白公干鱼水分含量和水分活度的关系

Figure 2 Relationship between water content and water activity of fried White Business fish

2.2 油炸时间、温度对白公干鱼吸油量的影响

2.2.1 油脂含量的变化 由图 3 可知,白公干鱼的初始脂肪含量很低(3.0%),随煎炸时间的延长和油炸温度的升高,其含油量逐渐增加,且增加速率由大变小。

油炸初期,白公干鱼水分迅速蒸发,部分油脂从外壳水分蒸发后留下的孔隙进入鱼内,其表面也会吸附一部分,使白公干鱼的吸油率急剧上升;油炸中期,由于大量蒸发了水分,白公干鱼表面形成多孔区域或者裂开,油脂渗入外壳的量进一步增多,吸油率进一步上升;油炸后期,由于淀粉糊化、蛋白质凝胶等因素使外壳厚度增加,此时水分含量比较低且损失减慢,故油脂质量分数增加缓慢^[16-17]。另一方面,在同等时间低温油炸的条件下吸油率并不一定随煎炸温度升高而增大,但是一旦超过一定的煎炸温度,由于煎炸条件达到了剧烈的临界值,故在高温煎炸范围内食物的吸油率和煎炸温度呈正相关^[18]。

2.2.2 油脂吸收动力学模拟 随着煎炸时间的不断延长,油炸白公干鱼含油率趋于平衡,称为平衡含油率。试验测得, $200, 180, 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下油炸平衡时,其含油率分别为 $38.0\%, 23.0\%, 19.5\%$ (均包含初始脂肪),将含油率均扣除 3.0% 的初始脂肪并代入式(4)中,最终模拟出不同油炸温度下,白公干鱼吸油率随油炸时间变化的拟合曲线。由图 3 可知,3 种油炸温度下白公干鱼的吸油率随煎炸时间的变化都很好地吻合了一级动力学方程, $200, 180, 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 煎炸温度下其 R^2 分别为 $0.985\ 2, 0.947\ 3, 0.939\ 6$ 。结合图 1 可知,在最适水分含量($22\%\sim 26\%$)下,产品含油率为 $20\%\sim 22\%$ 。

$$(1) 200\text{ }^{\circ}\text{C}: F_c = 35(1 - e^{-0.007\ 95t}) \quad (R^2 = 0.985\ 2), \quad (8)$$

$$(2) 180\text{ }^{\circ}\text{C}: F_c = 20(1 - e^{-0.011\ 25t}) \quad (R^2 = 0.947\ 3), \quad (9)$$

$$(3) 160\text{ }^{\circ}\text{C}: F_c = 16.5(1 - e^{-0.013\ 23t}) \quad (R^2 = 0.939\ 6), \quad (10)$$

式中:

F ——含油率, $\%$

t ——煎炸时间, s 。

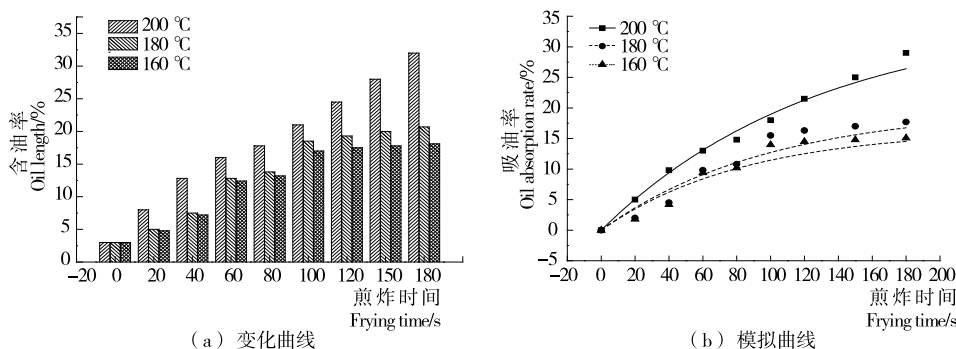


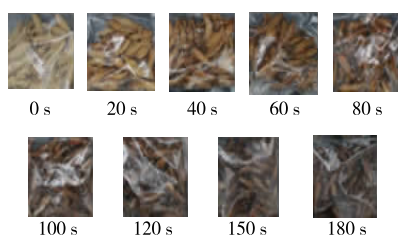
图3 3种油炸温度下白公干鱼的吸油率随煎炸时间的变化及其模拟曲线

Figure 3 The variation of oil absorption rate of White Business fish with frying time and its simulation curve under three frying temperatures

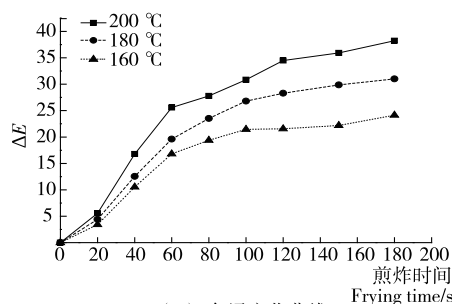
2.3 油炸时间、温度对白公干鱼色泽的影响

油炸过程中食物颜色的变化是美拉德反应、焦糖化反应以及其他反应共同作用的结果,其中美拉德反应为热反应,反应温度越高,反应时间越长,该反应进行的程度越大^[19]。由图4可知,随着煎炸时间的延长,小鱼干表

面色泽逐渐加深,呈现煎炸鱼特有的色泽,但过度煎炸会使美拉德反应进入第3阶段,产生类黑色素,使煎炸鱼的颜色变黑,不利于消费者接受^[20]。不同温度下煎炸鱼表面色泽均随时间呈比较好的线性趋势。当水分含量达到最适范围22%~26%时, ΔE 值为28~32。



(a) 200 °C下色泽变化



(b) 色泽变化曲线

图4 200 °C下白公干鱼的色泽变化图及3种油炸温度下白公干鱼的色泽随煎炸时间的变化
Figure 4 Color change of White Business fish at the temperature of 200 °C and the color of White Business fish varies with frying time at three frying temperatures

2.4 油炸时间、温度对白公干鱼质构的影响

2.4.1 硬度和咀嚼性的变化 硬度能很好地反映小鱼干油炸脱水过程中表皮质地、组织结构、口感、柔软度等品质^[21]。咀嚼性是一项综合质地分析参数,由硬度与胶黏性共同决定,其中硬度影响较大^[22]。由图5可知,随着油炸温度和时间的增大,油炸鱼肉的硬度和咀嚼性都有较为明显的上升。硬度的变化与白公干鱼在油炸过程中的脱水程度极具相关性,当含水量>22%时,白公干鱼硬度的增大速率随煎炸时间的延长越来越慢;当含水量<22%时,白公干鱼硬度急剧上升。这是由于在高温油炸的初始阶段白公干鱼的水分快速蒸发并且伴随着蛋白质的部分变性,随着油炸过程的持续,鱼肉组织受热过度而导致蛋白质完全变性和外皮壳增厚变硬^[20]。综上,白公干鱼随油炸时间的延长,鱼更加结实并且肉质不易松散,更具有嚼劲性。但油炸过度会使得其在油炸传质的过程

中失水过度,形成的硬壳过厚。

2.4.2 表层硬度的变化 小鱼干在油炸脱水过层中,随着脱水损失和吸油增加,表层颜色越来越深,其油炸过程会在表层形成一层坚硬的膜,可用表层硬度数值来反映外壳层的厚度^[23]。外皮壳的厚度受到外皮壳的导热系数、油温、水分含量、中心区域的导热系数和油的品质等影响^[24-25]。由图6可知,小鱼干的表层硬度在各个煎炸温度下随煎炸时间的增长均具有良好的线性关系(正相关)。在最适水分含量(22%~26%)下,表层硬度为1 200 g。一元线性回归方程表明,煎炸温度越高表层硬度的增长速率越大。

$$(1) 200\text{ }^{\circ}\text{C}: CH = 10.70t + 128 \quad (R^2 = 0.9912), \quad (11)$$

$$(2) 180\text{ }^{\circ}\text{C}: CH = 6.24t + 126 \quad (R^2 = 0.9968), \quad (12)$$

$$(3) 160\text{ }^{\circ}\text{C}: CH = 5.17t + 125 \quad (R^2 = 0.9949), \quad (13)$$

式中:

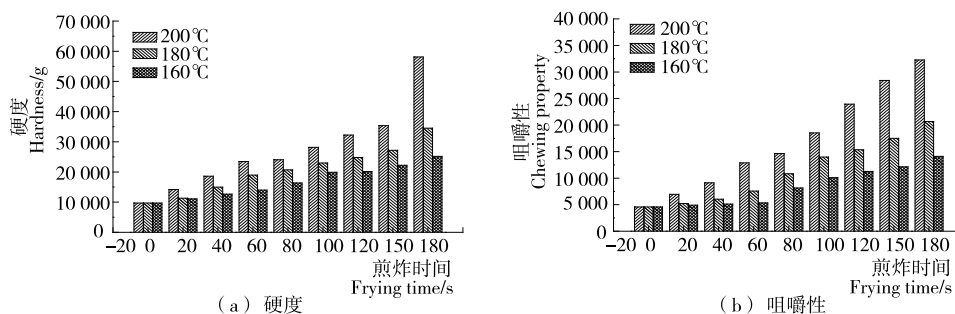


图 5 3 种油炸温度下白公干鱼的硬度和咀嚼性随煎炸时间的变化
Figure 5 The hardness and chewiness of White Business fish varied with frying time at three frying temperatures

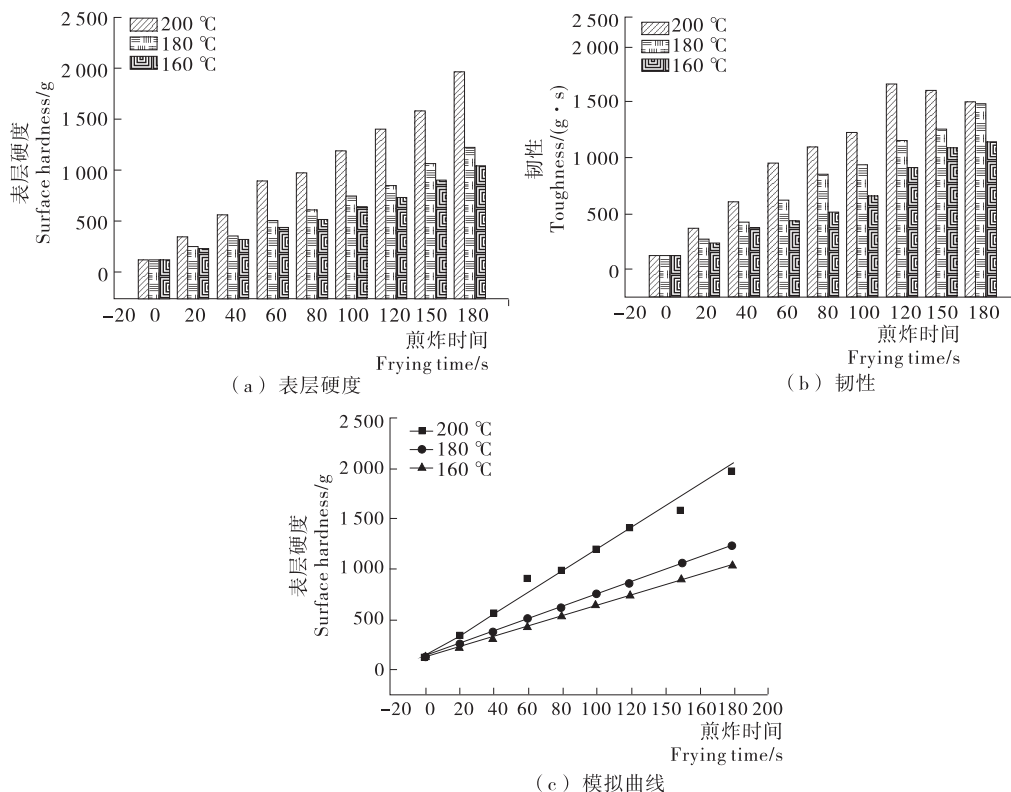


图 6 3 种油炸温度下白公干鱼的表层硬度和韧性随煎炸时间的变化及表层硬度的拟合曲线
Figure 6 The variation of surface hardness and toughness of White Business fish with frying time and the fitting line of surface hardness under three frying temperatures

CH——表层硬度, g;

t ——煎炸时间; s。

2.4.3 韧性的变化 韧性代表模拟人咀嚼时的一种感觉, 一般来说韧性越大越有嚼劲, 劲道感越强烈^[23]。200 °C 下煎炸 120 s 时韧性达到最大, 超过 120 s 时由于水分含量极少, 且以结合水为主, 小鱼干反而变得干瘪、硬脆, 韧性下降; 而 180 °C 或 160 °C 煎炸, 在 180 s 内韧性增大, 由于较低的煎炸温度使得煎炸强度不至于太剧烈, 以使小鱼干发生过于剧烈的反应脱去结合水。在最适水

分含量(22%~26%)下, 韧性为 1 100~1 200 g · s。

3 结论

随着油炸温度、时间的增大, 白公干鱼的水分损失和吸油量程度也逐渐加深, 并且其加深的速率都在开始阶段较大, 随着油炸时间的延长, 速率逐渐降低且趋于平缓; 当油炸时间足够长时, 白公干鱼的水分含量趋于零, 而吸油率达到平衡。用特定指数方程进行曲线模拟, 都很好地符合了试验结果, 并且模拟结果表明油炸温度越

高,其油脂传质系数越大。油炸过程使白公干鱼水分含量降低的同时,其水分活度也相应的减小,且具有显著的正相关性:当水分含量 $<22\%$ 时,水分活度随水分含量的增加而快速增大,当水分含量 $>22\%$ 时,水分活度随水分含量的增加而趋于平缓。油炸过程中白公干鱼色泽由灰白到金黄到深褐色直至变得焦黑。综合质构等感官品质的指标以及企业的实际生产经验,180℃油炸180s得到的白公干鱼品质最好,保留了油炸特有的色泽、风味、质地,也在一定程度上降低了白公干鱼的吸油率,不仅有利于消费者的健康,也减少了企业生产的用油成本。但试验未涉及添加涂膜剂、预干燥工艺、新型油炸工艺等,如果结合科学的工艺过程,产品吸油率会更低且品质会更好。

参考文献

- [1] 蒋成, 杨丽霞, 邱华丽, 等. X射线荧光光谱法快速检测原料白公干鱼中的镉[J]. 中国农学通报, 2017, 33(29): 124-129.
- [2] JAN Pokorny, ZUZANA Rblov. Effect of food components on changes in frying oil[J]. Food Technology Biotechnology, 1999, 37(2): 139-143.
- [3] CLARK W L, SERBIA G W. Safety aspects of frying fats and oils[J]. Food Technology, 1991, 45(2): 84-89.
- [4] HOSSEINI H, GHORBANI M, MESHGINFAR N, et al. A review on frying: Procedure, fat, deterioration progress and health Hazards[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2016, 93(4): 445-466.
- [5] 单金卉, 陈季旺, 曾恒, 等. 炸用油品质对外裹糊鱼块深度油炸过程中传质动力学的影响[J]. 武汉轻工大学学报, 2017, 36(2): 8-15, 25.
- [6] 卢绍闯, 郑宝芳, 秦石秀, 等. 添加剂处理对油炸胡萝卜脆片含油率及品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 185-188, 199.
- [7] 张根生, 王芮, 岳晓霞, 等. 大豆油在油炸鸡米花过程中品质的变化[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 43-46, 77.
- [8] 曹新蕾, 王立, 钱海峰, 等. 全麦粉对油炸方便面品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 193-197, 242.
- [9] CRANK J. The mathematics of diffusion[M]. Oxford: Oxford University Press, 1975: 245-246.
- [10] KROKIDA K K, OREPOULOU V, MAROULISN B. Water loss and oil uptake as a function of frying time[J]. Journal of Food Engineering, 2000, 44(1): 39-46.
- [11] 孙洋, 姜启兴, 许学勤, 等. 半干鲢鱼片油炸工艺研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 59-61, 67.
- [12] 赵钜阳, 于海龙, 王雪, 等. 油炸温度对孜然羊肉片品质与水分分布相关性的研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(16): 4-9.
- [13] NGOBESE N Z, WORKNEH T S, SIWELA M. Effect of low-temperature long-time and high-temperature short-time blanching and frying treatments on the French fry quality of six Irish potato cultivars[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(2): 507-517.
- [14] YU Bo, JIN Zheng-yu, DENG Li, et al. Kinetic study of thermal inactivation of potato peroxidase during high-temperature short-time processing[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 47(1): 67-72.
- [15] 夏文水. 食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 25-29.
- [16] SRAVAN L, SANDHU J S, TAKHAR P S, et al. Experimental study on transport mechanisms during deep fat frying of chicken nuggets[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(1): 110-119.
- [17] BOUCHON P, PYLE D L. Modeling oil absorption during post-frying cooling I: Model development[J]. Food and Bioproducts Processing, 2005, 83(4): 253-260.
- [18] 冯爱国, 李春艳. 降低油炸制品含油量的新方法[J]. 粮油加工, 2008(6): 103-105.
- [19] IKOKO J, KURI V. Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain[J]. Food Chemistry, 2006, 102(2): 523-531.
- [20] 张鹏, 王旋, 杨方, 等. 斑点叉尾鲷鱼脱水程度对其油炸品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(8): 878-882.
- [21] 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(5): 93-97.
- [22] 张聪, 陈德慰. 油炸食品风味研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3 085-3 091.
- [23] 赵新淮. 食品化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 123-127.
- [24] 宋焕禄. 食品风味化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 51-54.
- [25] SANSANO M, DELOS R R, ANDRES A, et al. Effect of microwave frying on acrylamide generation, mass transfer, color, and texture in french fries[J]. Food & Bioprocess Technology, 2018, 11(10): 1 934-1 939.