

反复冻融对速冻油条品质的影响

康志敏, 张康逸*, 高玲玲, 温青玉, 王继红, 盛威, 董瑞林
(河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南郑州 450008)

摘要:以无铝油条预混粉为原料制作速冻油条,研究反复冻融(0、1、2、3、4次)对速冻油条物理特性(温度变化、含水量变化、色泽、质构特性)及感官品质的影响,探讨冻融过程中油条品质的变化规律。结果表明:速冻和解冻过程,油条内部温度会产生较大波动;除皮的水分含量、粘性和咀嚼性外,不同冻融次数与油条瓤的水分含量、 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、比容、感官评分、硬度、弹性、剪切力呈极显著相关($p < 0.01$),随冻融次数增加,油条表面色泽变暗,红度、黄度增加,油条的感官品质各指标评分降低,4次冻融后油条感官评分降低至65分以下,可食用性差,油条硬度、粘性、咀嚼性、剪切力逐渐增加,弹性逐渐减小;可见,随反复冻融次数的增加,油条品质越来越差。3次冻融后,油条皮出现明显结霜,瓤水分含量降低至75.28%、色泽变差、硬度、咀嚼性及剪切力增大,弹性降低,感官评分降低至70.67分,严重影响油条的食用性,可接受程度变差。因此,速冻油条在储藏过程中,要尽量减少速冻油条产品冻融次数,冻融次数不宜超过2次,以保证产品质量。

关键词:冻融循环,品质,速冻油条

Effects of freeze-thaw cycles on the quality of the frozen twisted dough-strips

KANG Zhi-min, ZHANG Kang-yi*, GAO Ling-ling,
WEN Qing-yu, WANG Ji-hong, SHENG Wei, DONG Rui-lin

(Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: Frozen twisted dough-strips was made by non-aluminum twisted dough-strips premixed powder and the effects of freeze-thaw cycles on the physical characteristics (temperature variation curve, water content variation curve, color, texture properties) of twisted dough-strips and sensory quality were investigated in this study. The results showed that the internal temperature of fried dough sticks caused great fluctuation in the freeze-thaw cycles. There were significant correlated between freeze-thaw cycles and water contents of pulp, L^* value, a^* value, b^* value, specific volume, sensory score, hardness, elasticity, shear force ($p < 0.01$), except moisture contents of skin, stickiness and chewiness. Accompanied with the increase of the number of freeze-thaw cycles, the color and luster of frozen twisted dough-strips turned to dim, as well as the sensory quality and elastic, the sensory scores reduced to less than 65 points after four times freeze-thaw cycles, while the red, yellow, hardness, stickiness, chewiness, shearing force increased. So the quality of the twisted dough-strips got worse according to the number of freeze-thaw cycles increased. After 3 times the skin of twisted dough-strips were frosted, the water contents of pulp reduced to 75.28%, the color, hardness, chewiness, and shear force increased, elastic reduced, the sensory score reduced to 70.67 points, and the edibility and acceptability were severely affected. To ensure product quality, the number of freeze-thaw cycles of frozen twisted dough-strips should be less than 2 times in the process of storage.

Key words: freeze-thaw cycles; quality; frozen twisted dough-strips

中图分类号: TS213 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2017)24-0033-06
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.24.007

油条作为我国传统食品,外酥里嫩,鲜香适口,速冻油条是一种在传统油条加工基础上经冷冻加工制作而成的速冻面制食品,它继承了油条的传统风味,食用时只需复热,具有方便、快捷、性价比高优点,是中国传统食品工业化的最佳切入点之一,然而在实际生产、冷藏、运输和销售过程中可能由于管理

不善等因素造成温度波动,使速冻油条常出现冻融循环现象,严重影响其品质。

现有研究发现,反复冻融会使速冻汤圆蒸煮特性变差,产生冻纹、破裂、掉粉现象,透光性也变差^[1];非发酵面团的水分会不断散失、蛋白质含量降低、硬度和弹性呈下降趋势、粘性增大^[2]。Naito等^[3]、

收稿日期: 2017-04-28

作者简介: 康志敏(1986-),女,硕士,助理研究员,主要从事农产品加工方面的研究, E-mail: 576020324@qq.com。

* 通讯作者: 张康逸(1981-),男,博士,副研究员,主要从事农副产品加工方面的研究, E-mail: kangyiz@163.com。

基金项目: 河南省重大科技专项(151100111300); 2016年河南省产粮大省奖励资金农业科技创新项目(yem201513116)。

Phimolsiripol 等^[4]的研究均表明,冻藏期间的温度波动会显著破坏面筋结构,降低面团品质;反复冻融加剧了食品中的重结晶作用,引起食品表皮的破裂,破坏其内部组织结构,加速食品品质变差。因此,避免反复冻融对保持速冻面制品原有品质有着至关重要的作用。目前,关于反复冻融对米面制品品质的研究主要集中在速冻水饺^[5]、速冻汤圆^[2,6]、速冻面包^[7]和速冻面团^[8]等。本实验研究反复冻融对油条品质的影响,建立速冻油条冻融过程的品质劣变规律,以期为油条的冷冻保藏与运输提供品质维护措施的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

无铝油条预混粉 河南省农科院农副产品加工研究所;金龙鱼食用调和油 益海嘉里食品营销有限公司。

DW-86W420 速冻机 海尔集团;BCD-202TD 冰箱 海信电器;TMS-PRO 质构仪 美国 FTC 公司;DHG-9240A 鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;AL204 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;艾格丽恒温油炸锅 湖北香江电器股份有限公司;SH-X 多路温度测试仪 东莞市联仪仪器有限公司;Hunter color Flex EZ 型色差仪 美国 Hunter lab 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 无铝速冻油条的制作 无铝油条预混粉→加水→和面→饧发→切条→预炸→成型→预冷→冷冻→成品→贮藏

操作要点:取 200 g 无铝油条预混粉^[9]放入和面机,加 140 g 水搅打 3 min 成光滑面团,38 ℃ 饧发 1 h。将面团放置案板上拉伸,用手轻按成宽 8 cm,厚 0.5 cm 的面片,切成宽约 2.5 cm 的面胚,将两个面胚叠放,中间按压,用手捏住两端,拉伸至 20 cm^[10],190~200 ℃ 预炸 30 s 成型,预冷速冻,-18 ℃ 冷藏。解冻,190 ℃ 复炸 55 s,炸至色泽金黄^[11]。

1.2.2 预冷速冻及解冻过程中油条各层温度的测定 取点:产品温差大小和降温速率的快慢直接影响速冻油条的品质,本实验采用多路温度测试仪分别测定油条皮(油条皮下侧)、瓢(油条中心瓢心部位)的温度在预冷速冻^[12]和解冻过程中的变化。

预冷速冻:以开始进入预冷间的温度作为起始温度,0 ℃ 预冷 45 min,-25 ℃ 速冻。每分钟记录一次,测三次平行,当瓢的温度降至-18 ℃ 时冻结测定结束。

解冻:取出冻结后的油条置于 25 ℃ 恒温箱中,分别测定油条皮、瓢在解冻过程中的温度的变化,每分钟记录一次数据,测三次平行。

1.2.3 反复冻融实验 将速冻后的油条样品取出置于 25 ℃ 恒温箱中解冻 3 h,记作第 0 次冻融(对照),再将油条装入保鲜袋中密封后放入-25 ℃ 冰箱中冻藏 24 h,取出于 25 ℃ 恒温箱中解冻 3 h,记为第 1 次冻融;依次进行第 2 次、第 3 次和第 4 次冻融,复炸冷却后测定不同冻融次数油条皮和瓢的含水量、色泽、质构特性、比容和感官品质。

1.2.4 速冻油条物理品质的测定

1.2.4.1 油条皮和瓢湿基含水量的测定 采用 GB50093-2010^[13]中的直接干燥法,测定不同冻融次数后油条皮、瓢的水分,每个样品测三次平行,两个数据误差不超过 2%,取其平均值,用 $w_{\text{皮}}$ 、 $w_{\text{瓢}}$ 分别代表皮和瓢的湿基含水率,公式如下:

$$w(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

式中: w —湿基含水率,%; m_1 —湿样品质量,g; m_2 —干样品质量,g。

1.2.4.2 油条色泽的测定 使用色差仪测定油条皮的 L^* 值(亮度)、 a^* 值(红绿色值,正值偏红,负值偏绿)和 b^* 值(黄蓝色值,正值偏黄,负值偏蓝), a^* 和 b^* 值越大,颜色越深。每个样品测五组平行数据,结果取平均值。

0 次冻融速冻油条的色泽为标准参照色,其色值为 $L^{*'}、a^{*'}、b^{*'}$,按照以下公式计算色差(ΔE)。

$$\Delta E = \sqrt{(L^{*'} - L^*)^2 + (a^{*'} - a^*)^2 + (b^{*' - b^*)^2}}$$

1.2.4.3 油条质构特性的测定 质构分析(texture profile analysis,TPA)可以将感官品质量化,减少主观评判造成的误差,是食品评价的重要因素。将速冻后的油条复炸 30 s,室温冷却 10 min,取油条成品中间一段,进行质构特性测定^[14]。

TPA 实验:采用 p50 探头,测前速率:1.0 mm/s,测试速率:1.0 mm/s;测后速率 1.0 mm/s;触发力:5 N;压缩比 30%,两次压缩时间间隔:1 s。分别测定不同冻融次数的油条硬度、弹性、粘性、咀嚼性^[15-16]。

剪切实验:采用剪切探头,压缩比为 90%,测定剪切力。

1.2.4.4 油条比容的测定 油条比容是反映油条膨胀度的一个量化指标,将速冻油条复炸后室温冷却 10 min,采用菜籽置换法测定其比容^[17]。

1.2.4.5 速冻油条感官品质的测定 感官评定是食品最直接最重要的评定方法^[18],直接反映人们对食品的喜好程度。将速冻油条复炸后室温冷却 10 min,选择 10 名感官评价员分别对不同条件下的油条进行感官评定,参照油条感官评价标准^[19]进行打分,去除最大值和最小值,取平均值,计算总分。

1.3 数据统计与分析

采用 Origin Pro8.0 软件绘图。采用 SPSS 16.0 统计分析实验数据,每组实验均重复 3 次,取平均值,数据结果以平均值 ± 标准偏差表示,并进行单因素方差分析和相关性分析,采用 t 检验,当 $p < 0.05$ 时,表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 预冷速冻过程油条皮和瓢温度的变化

从化工传递理论的角度看,食品冷冻是食品物料内部固相和液相之间热量和质量传递的过程,冷冻中食品所丧失的总焓取决于温度变化、比热和样品质量^[20]。由图 1 可知,油条在 0 ℃ 环境下预冷 45 min 过程中,油条皮和瓢的降温速率先快后慢,预冷 25 min 之前,由于预炸后的油条产品和预冷温度间温差较大,降温速率较快,预冷 25 min 后,降温速率缓慢,预冷 45 min 后,皮和瓢的温度分别为 14.8 ℃

表 1 油条感官评分标准
Table 1 Sensory score criteria of twisted dough-strips

项目	分值	评分标准
色泽	15	指油条的色泽和亮度。金黄色、深黄色为 11~15 分;黄白色为 6~10 分;色泽白色或发灰发暗为 1~5 分。
外观状态	20	指油条的外观形状和膨发性。外观形状整齐,对称、光滑、膨胀度好为 16~20 分;一般为 10~15 分;形状不整齐、不对称、表面粗糙膨发性较差为 1~9 分。其中比容为 3.5~4.5 mL/g,膨胀度好;比容为 2.5~3.5 mL/g,膨胀度一般;比容为 1.5~2.5 mL/g,膨胀度最差。
适口性	15	指用于咬掉一根油条所需的力。酥脆爽口,咬力适中为 11~15 分;较费力或一般为 6~10 分;咬劲差或不易咀嚼为 1~5 分。
粘性	10	指咀嚼过程中,油条的粘牙程度。咀嚼时爽口,不粘牙为 8~10 分;较爽口为 4~7 分;不爽口为 1~3 分。
油腻性	5	表皮干爽,咬时无油流出为 4~5 分;表皮油滑,咬时基本无油流出为 2~3 分;表皮含油多,咬时有油流出为 0~1 分。
组织结构	10	指纵切面气孔均匀度和孔壁厚薄程度。气孔多而细密,孔壁薄为 8~10 分;内部气孔较少且大小不均匀,或孔大壁厚为 4~7 分;内部气孔少,孔壁厚,结构坚实死板为 1~3 分。
香气	10	有油炸香味和麦香味,无异味为 8~10 分;无油炸香味,面香味弱,基本无异味为 4~7 分;无香味,有异味 1~3 分。
食味	15	口感细腻,外酥脆内细软,咸香适口为 11~15 分;口感较粗糙,表皮绵软不酥脆,咸味较浓或无咸味为 6~10 分;口感粗糙,表皮硬脆,死板,有异味为 1~5 分。

和 15.0 ℃;在冻结过程中,油条各层降温趋势一致,但下降速率不同,皮的降温速率大于瓢的降温速率,这是因为油条皮始终与冷空气进行对流换热,皮温度降低后再与瓢发生热传导,油条在速冻 16 min 后皮和瓢的温度分别为-12.1、-5.2 ℃,通过了最大冰晶生成区域^[21],速冻 38 min 油条皮温度达到-18 ℃,速冻 45 min 油条瓢达到-18 ℃。

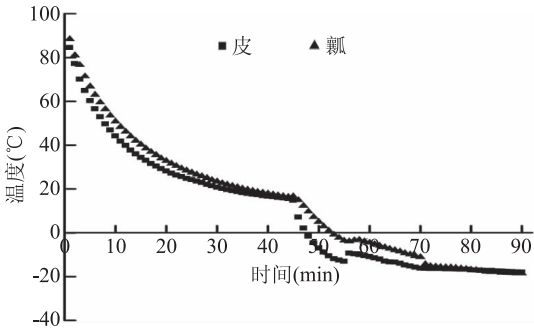


图 1 预冷速冻过程中油条的降温图
Fig.1 The cooling diagram of twisted dough-strips under pre-cooling and fast freezing process

2.2 解冻过程中油条皮和瓢温度的变化

由图 2 可知,在速冻油条解冻过程中,速冻油条皮温度上升的速率比瓢快,这是因为与冻结过程类似,解冻过程的热传导也是由外向内进行,这也说明解冻过程可以看作是冻结过程的逆过程;解冻初期温度上升速度较快,这可能是由于此时油条表面没有出现融化层,比热容较小,传热较快。随着温度升高,油条比热容会逐渐增大,升高单位温度所需的热量也逐渐增加,因此解冻速度减慢^[22]。当油条瓢通过-5~-1 ℃最大冰晶带后,油条内部已完全融化,而油条皮层已长时间处于冰点以上温度,解冻 80 min 以后,油条皮和瓢的温度将处于 20 ℃ 以上。因此,解冻过程中温度波动也会对油条品质产生影响。

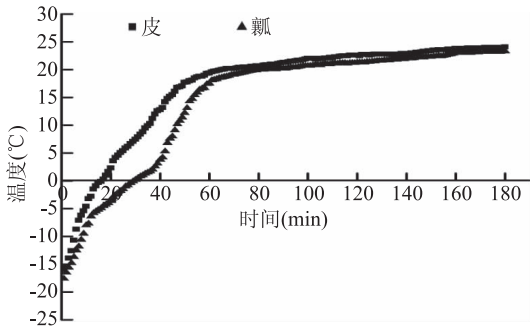


图 2 解冻过程中油条温度的变化
Fig.2 The temperature changes of twisted dough-strips in thawing process

2.3 冻融过程对油条皮、瓢水分含量的影响

油条各层水分含量是评价其品质的重要因素,如果水分含量控制不合理,可能会造成油条冻裂、变硬、口感变差等质量问题,由表 2 可知,冻融过程中油条瓢的水分含量逐渐减少,油条皮的水分含量先减小后增加,2 次冻融油条皮水分含量最少;不同冻融次数油条皮和瓢的水分含量变化显著($p < 0.05$)。在冻融过程中,冻融 2 次后,油条皮会出现明显的结

表 2 冻融过程对油条各层水分含量的影响

Table 2 Effect of freeze-thaw cycles on the moisture content of each layer in twisted dough-strips

冻融次数 (次)	皮水分含量 (%)	瓢水分含量 (%)
0	36.23 ± 0.32 ^a	84.18 ± 0.84 ^a
1	33.75 ± 0.42 ^b	81.85 ± 0.79 ^b
2	29.87 ± 0.41 ^c	79.40 ± 0.42 ^c
3	31.53 ± 0.47 ^d	75.28 ± 0.50 ^d
4	32.72 ± 0.37 ^c	74.01 ± 0.46 ^c

注:同列若字母相同,表明差异不显著($p > 0.05$),若字母不相同,表明差异性显著($p < 0.05$),表 3~表 5 同。

表3 冻融过程对油条色泽的影响

Table 3 Effect of freeze-thaw cycles on the color of twisted dough-strips

冻融次数(次)	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	色差(Δ <i>E</i>)
0	62.02 ± 0.23 ^a	10.18 ± 0.42 ^c	38.43 ± 0.34 ^c	0.00 ± 0.00 ^c
1	59.59 ± 0.67 ^b	11.16 ± 0.04 ^b	38.73 ± 0.08 ^{bc}	2.64 ± 0.60 ^d
2	58.38 ± 0.97 ^c	11.69 ± 0.74 ^b	39.75 ± 0.80 ^{ab}	4.15 ± 0.31 ^c
3	57.34 ± 0.12 ^d	12.46 ± 0.10 ^a	40.06 ± 0.28 ^a	5.45 ± 0.25 ^b
4	55.93 ± 0.40 ^e	13.17 ± 0.36 ^a	40.57 ± 1.01 ^a	7.11 ± 0.11 ^a

表4 反复冻融对油条感官品质和比容的影响

Table 4 Effect of the freeze-thaw cycles on sensory evaluation and specific volume of twisted dough-strips

冻融次数(次)	比容(mL/g)	色泽	表现状态	适口性	粘性
0	2.36 ± 0.09 ^a	13.33 ± 0.58 ^a	15.33 ± 0.58 ^a	13.00 ± 1.00 ^a	8.33 ± 0.58 ^a
1	2.28 ± 0.19 ^a	12.00 ± 1.00 ^a	15.00 ± 1.00 ^a	13.00 ± 0.00 ^a	8.00 ± 0.00 ^{ab}
2	2.21 ± 0.18 ^a	11.67 ± 1.53 ^a	14.00 ± 1.00 ^a	12.33 ± 0.58 ^{ab}	8.00 ± 0.00 ^{ab}
3	2.11 ± 0.30 ^a	11.67 ± 1.53 ^a	14.00 ± 1.00 ^a	10.67 ± 1.53 ^{ab}	7.33 ± 0.58 ^{bc}
4	2.03 ± 0.13 ^a	10.00 ± 1.00 ^a	13.33 ± 1.53 ^a	9.33 ± 1.53 ^{ab}	6.67 ± 0.58 ^c

冻融次数(次)	油腻性	组织结构	香气	食味	总分(分)
0	4.00 ± 0.00 ^a	8.67 ± 0.58 ^a	8.00 ± 1.00 ^a	12.33 ± 0.58 ^a	83.00 ± 1.00 ^a
1	4.00 ± 0.00 ^a	8.00 ± 1.00 ^{ab}	8.00 ± 1.00 ^a	12.00 ± 1.00 ^{ab}	80.00 ± 1.73 ^a
2	3.67 ± 0.58 ^a	7.67 ± 1.15 ^{ab}	7.00 ± 1.00 ^a	11.33 ± 1.53 ^{ab}	75.67 ± 2.52 ^b
3	4.00 ± 0.00 ^a	7.33 ± 0.58 ^{ab}	6.67 ± 0.58 ^a	9.00 ± 1.00 ^{ab}	70.67 ± 3.51 ^{bc}
4	4.00 ± 0.00 ^a	7.00 ± 0.00 ^b	5.33 ± 0.58 ^a	8.00 ± 0.56 ^{ab}	64.67 ± 1.53 ^c

霜现象,这可能是由于油条表面温度和外界温度形成气压差,导致内部水分转移,同时,由于外界温度的较大变化,使得油条内部水分出现重结晶现象,促使冰晶体颗粒增大,破坏油条内部组织结构,导致水分在面筋网络间隙做不定向运动,使得对水分的束缚能力减弱,造成水分散失^[23]。由皮和瓢的水分变化可知,油条冻融次数不宜超过2次。

2.4 冻融过程对油条色泽的影响

食品都有比较固定的颜色,颜色是食品的主要表现特征之一。长期以来人们已经对食品的颜色有了固有的观念,因此颜色对人的影响不仅仅是视觉上的,而且赋予人们对食品品种、品质优劣、新鲜与否的联想。油条的表皮颜色直接影响其可接受性。由表3可知,随着反复冻融次数的增加,*L*^{*}值显著降低(*p* < 0.05),表明油条色泽变暗,亮度降低;*a*^{*}值、*b*^{*}值增加(*p* < 0.05),表明油条红度、黄度增加;Δ*E*显著增大,Δ*E*越小表明越接近标准色。说明油条在反复冻融过程中,油条色泽视觉效果变差,可接受程度变差。因此油条在储藏过程中要尽量避免多次冻融。

2.5 冻融过程对油条感官品质和比容的影响

由表4可知,反复冻融过程中,除油腻性外,油

条的比容及感官品质均随冻融次数的增加逐渐降低,这与色差仪测定结果一致,其中0次冻融、1次冻融与2次冻融、3次冻融、4次冻融的感官总分有显著差异(*p* < 0.05),0次冻融与1次冻融油条的比容、色泽、表现状态、适口性、粘性、油腻性、组织结构、香气、食味及总分无显著差异(*p* > 0.05);油条经2次冻融,复炸后色泽、适口性、表现状态、组织结构和食味品质变化明显,色泽变暗,油条不易咀嚼,外观不伸展,组织结构有皱缩,香气散失较多,冻融3次后,油条综合品质变差严重,感官评分低至70.67分,可食用性差,因此,速冻油条反复冻融次数不宜超过2次。

2.6 冻融过程对油条质构特性的影响

由表5可知,反复冻融过程中,油条质构特性硬度、粘性、咀嚼性、剪切力逐渐增加,弹性逐渐减小,这与感官评价中适口性、粘性结果一致;0次冻融与1次冻融后油条硬度、弹性、粘性指标无显著差异(*p* > 0.05),3次冻融与4次冻融后油条硬度、弹性、粘性、咀嚼性指标无显著差异(*p* > 0.05),其中0次冻融、1次冻融、2次冻融与3次冻融、4次冻融后的硬度和剪切力指标有显著不同(*p* < 0.05),不同冻融次

表5 反复冻融对油条质构特性的影响

Table 5 Effect of the freeze-thaw cycles on the texture properties of twisted dough-strips

冻融次数(次)	硬度(N)	弹性	粘性(N)	咀嚼性	剪切力
0	12.96 ± 0.61 ^c	3.58 ± 0.17 ^a	3.93 ± 0.55 ^b	23.96 ± 0.86 ^c	29.98 ± 0.29 ^c
1	13.53 ± 0.25 ^{bc}	3.46 ± 0.04 ^{ab}	3.96 ± 0.23 ^b	27.52 ± 0.73 ^b	31.47 ± 0.17 ^d
2	13.96 ± 0.81 ^b	3.26 ± 0.22 ^{bc}	4.45 ± 0.34 ^{ab}	28.00 ± 0.10 ^b	32.31 ± 0.17 ^c
3	14.96 ± 0.35 ^a	3.07 ± 0.13 ^{cd}	4.50 ± 0.18 ^{ab}	28.27 ± 1.55 ^{ab}	33.67 ± 0.12 ^b
4	15.50 ± 0.26 ^a	2.95 ± 0.05 ^d	4.67 ± 0.23 ^a	30.02 ± 0.40 ^a	34.47 ± 0.15 ^a

表6 冻融次数及水分含量与速冻油条品质相关性分析
Table 6 Correlation analysis between freeze-thaw cycles and water contents and frozen twisted dough-strips quality

指标	皮水分含量	瓤水分含量	L^*	a^*	b^*	比容	感官评分	硬度	弹性	粘性	咀嚼性	剪切力
冻融次数	-0.611	-0.990**	-0.986**	0.997**	0.983**	-0.999**	-0.993**	0.992**	-0.996**	0.950*	0.917*	0.995**
皮水分含量		0.595	0.683	-0.614	-0.687	0.576	0.522	-0.530	0.620	-0.720	-0.696	-0.630
瓤水分含量			0.967**	-0.986**	-0.971**	0.993**	0.981**	-0.995**	0.996**	-0.938*	-0.878	-0.992**

注：* 表示显著相关($p < 0.05$)；** 表示极显著相关($p < 0.01$)。

数油条剪切力指标有显著差异($p < 0.05$)。这可能是由于反复冻融过程中,冰晶的生长和重结晶作用对油条内部网络结构造成一定的机械破坏,油条内部水分发生迁移散失,引起淀粉回生,从而导致面制品的硬度、咀嚼性和弹性等发生变化,油条表皮结霜,表皮结合水分降低,影响感官品质。这与 Smail 等^[24]研究结果一致。

2.7 冻融次数及水分含量与速冻油条品质相关性分析

由表6可知,瓤的水分含量、 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、比容、感官评分、硬度、弹性、剪切力与冻融次数极显著相关($p < 0.01$),意味着冻融次数增加,瓤的水分会减少,色泽改变,比容、感官评分减少,弹性变差,硬度、咀嚼性和剪切力增加;瓤的水分含量与油条 L^* 、比容、感官评分、弹性呈极显著正相关($p < 0.01$),与 a^* 值、 b^* 值、硬度、剪切力呈极显著负相关($p < 0.01$);这说明瓤的水分含量越高,油条比容越大,感官评分越高,弹性越大;而硬度、粘性、咀嚼性、剪切力越小。这可能是因为速冻油条经反复冻融,水分发生迁移散失,引起淀粉回生,从而导致面制品的感官品质、质构品质发生变化,这与 Smail 等^[23]的研究是一致的。

3 结论

本文通过研究不同冻融次数对油条皮和瓤的降温、升温规律,含水率,色泽、质构特性及感官品质的影响,得出速冻和解冻过程会使油条内部温度产生较大波动;去皮的水分含量、粘性和咀嚼性外,不同冻融次数与油条瓤的水分含量、 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、比容、感官评分、硬度、弹性、剪切力呈极显著相关($p < 0.01$),随冻融次数增加,油条表面色泽变暗,红度、黄度增加,油条的感官品质各指标评分降低,4次冻融后油条感官评分降低至65分以下,可食用性差,油条硬度、粘性、咀嚼性、剪切力逐渐增加,弹性逐渐减小;可见,随反复冻融次数的增加,油条品质越来越差。3次冻融后,油条皮出现明显结霜,瓤水分含量降低至75.28%、色泽变差、硬度、咀嚼性及剪切力增大,弹性降低,感官评分降低至70.67分,严重影响油条的食用性,可接受程度变差,因此,速冻油条在储藏过程中,要尽量减少速冻油条产品冻融次数,冻融次数不宜超过2次,以保证产品质量。

参考文献

[1]周显青,马鹏阔,胡育铭,等.冻藏温度波动对速冻汤圆粉团蒸煮特性的影响[J].粮食与饲料工业,2015(1):16-19.
[2]叶晓枫,韩永斌,赵黎平,等.冻融循环下冷冻非发酵面团品

质的变化及机理[J].农业工程学报,2013,29(21):271-278.
[3]Naito S, Fukami S, Mizokami Y, et al. Effect of freeze-thaw cycles on the gluten fibrils and crumb grain structures of breads made from frozen doughs [J]. Cereal Chemistry, 2004, 81 (1): 80-86.
[4]Phimolsiripol Y, Siripatrawan U, Tulyathan V, et al. Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(1): 48-56.
[5]Ren X, Li X T, Shen Q. Effect of Packaging and Storage Conditions on Quality Properties of Quick-frozen Dumpling Skin [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(6): 263-271.
[6]Han T, Yan J, Wu F F, et al. The effect of multiple freezing-thawing cycles on physicochemical properties of waxy rice starch [J]. Starch, 2015, 5(27): 109-112.
[7]Yadav D N, Patki P E, Khan M A, et al. Effect of freeze-thaw cycles and additives on rheological and sensory properties of ready to bake frozen chapaties [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(9): 1714-1720.
[8]Mahesh G, Amarinder S B, Nissreen A G. Effect of barley flour and freeze-thaw cycles on textural nutritional and functional properties of cookies [J]. Food and Bioproducts Processing, 2011, 89(4): 520-527.
[9]康志敏,张康逸,高玲玲,等.无铝添加油条预混粉膨松剂的研究[J].粮食科技与经济,2015,40(5):60-63.
[10]董少华,张国治,韩燕,等.无铝油条膨松剂配方的优化[J].河南工业大学学报:自然科学版,2005,26(2):33-35.
[11]鞠国泉,米思.无铝复合膨松剂在油条制作中的应用研究[J].中国粮油学报,2010,25(7):110-112.
[12]张康逸,康志敏,温青玉,等.预冷冷冻过程对速冻油条加工品质的影响[J].食品科学,2017,25(7):110-112.
[13]GB50093-2010,食品安全国家标准食品水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.
[14]李子廷,赵建新,傅琼颖,等.无铝中式油条配料开发及其面团流变学性质研究[J].吉林农业大学学报,2011,33(1):99-105.
[15]Demirkesen I, Kelkar S, Campanella O H, et al. Characterization of structure of gluten-free breads by using X-ray microtomography [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36: 37-44.
[16]崔丽琴,崔素萍,马平,等.豆渣粉对小麦面团、馒头质构特性及馒头品质的影响[J].食品科学,2014,35(5):85-88.
[17]Mandala I G. Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids [J]. Journal

[22] Harris L J, Fleming H P, Klaenhammer T R. Developments in nisin research [J]. Food Research International, 1992, 25 (1): 57-66.

[23] 吕淑霞, 白泽朴, 代义, 等. 乳酸链球菌素 (Nisin) 抑菌作用及其抑菌机理的研究 [J]. 中国酿造, 2008, 27 (5): 87-91.

[24] 江芸, 周光宏, 高峰, 等. 国产 Nisin 部分特性的研究 [J]. 食品科学, 2001, 22 (4): 18-21.

[25] 张燕, 救日格乐, 王纯洁, 等. nisin 和 EDTA 对牛源致病性大肠杆菌体外抑菌效果的研究 [J]. 中国农业大学学报, 2016, 21 (5): 98-103.

[26] 汪立平, 陈有容, 齐凤兰. 变质豆浆中腐败微生物的分离及其灭杀条件研究 [J]. 大豆科学, 2006, 25 (3): 254-258.

[27] 汪立平, 张庆华, 赵勇, 等. 变质豆浆中腐败微生物的分离与初步鉴定 [J]. 微生物学通报, 2007, 34 (4): 621-624.

[28] 郭海英. 豆浆中腐败微生物的分离鉴定与控制研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2008.

[29] Shi C, Zhao X C, Yan H Y, et al. Effect of tea tree oil on *Staphylococcus aureus* growth and enterotoxin production [J]. Food Control, 2016, 62: 257-263.

[30] Moghimi R, Aliahmadi A, McClements D J, et al. Investigations of the effectiveness of nanoemulsions from sage oil as antibacterial agents on some food borne pathogens [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 71: 69-76.

[31] Diao W R, Hu Q P, Zhang H, et al. Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare*, Mill.) [J]. Food Control, 2014, 35 (1): 109-116.

[32] Li G, Xin W, Xu Y, et al. Antimicrobial effect and mode of action of chlorogenic acid on *Staphylococcus aureus* [J]. European Food Research and Technology, 2014, 238 (4): 589-596.

[33] Shi C, Sun Y, Zhang X, et al. Antimicrobial effect of lipoic acid against *Cronobacter sakazakii* [J]. Food Control, 2016, 59: 352-358.

[34] Al-Zoreky N S, Al-Taher A Y. Antibacterial activity of spathe from *Phoenix dactylifera*, L. against some food-borne pathogens [J]. Industrial Crops & Products, 2015, 65: 241-246.

[35] Zhao Y, Chen M, Zhao Z, et al. The antibiotic activity and mechanisms of sugarcane (*Saccharum officinarum*, L.) bagasse extract against food-borne pathogens [J]. Food Chemistry, 2015, 185: 112-118.

of food Engineering, 2005, 66 (3) :291-300.

[18] Liu C, Chang Y, Li Z, et al. Effect of ratio of yeast to Jiaozi on quality of Chinese steamed bread [J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 12 (B) : 1203-1207.

[19] 康志敏, 郭祯祥, 孙冰华, 等. 运用模糊数学方法建立油条感官评价体系 [J]. 农产品加工, 2012 (3) : 70-78.

[20] 李志新, 胡松青. 食品冷冻理论和技术的进展 [J]. 食品工业科技, 2007, 28 (6) : 223-226.

[21] 曾庆孝, 芮汉明, 李汴生. 食品加工与保藏原理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.

[22] 阮征,张婷婷,邱晓斌,等.反复冻融对广式奶黄包品质的影响[J].现代食品科技,2016,32(5):192-198.

[23] Yuthana P, Ubonrat S, Donald J C. Weight loss of frozen bread dough under isothermal and fluctuating temperature storage conditions [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106 (2): 134-143.

[24] Smail M, Irina I, Jordane J, et al. Effects of freezing treatments on the fermentative activity and gluten network integrity of sweet dough[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46 (1): 118-126.