

# 发酵型速冻油条制作工艺条件的优化

杨 念, 宋晓燕\*, 董振江, 王晓兰  
(河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 为了优化发酵型速冻油条的制作工艺, 考察影响发酵型速冻油条品质的主要因素, 在单因素试验的基础上, 采用响应曲面法, 研究酵母添加量、发酵时间、膨松剂添加量对发酵型速冻油条比容的影响规律。结果表明, 发酵型速冻油条制作的最佳工艺条件为: 酵母添加量 1.0% (以面粉质量计)、膨松剂添加量 3.0% (以面粉质量计)、发酵时间 2.4h,  $-35^{\circ}\text{C}$  速冻 20min, 在此最佳工艺条件下制得油条的比容为  $(4.54 \pm 0.03)\text{mL/g}$ 。

**关键词:** 发酵型速冻油条; 比容; 感官评分; 响应曲面法

## Optimization of Production Conditions for Fermented Frozen Fried Bread Stick

YANG Nian, SONG Xiao-yan\*, DONG Zhen-jiang, WANG Xiao-lan  
(College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In order to optimize the production process of fermented frozen fried bread stick, main factors that affect the quality of fried bread stick were investigated. On the basis of one-factor-at-a-time experiments, the response surface methodology was employed to study the effects of yeast amount, fermentation time and leavening agent amount on specific volume of fried bread stick. Results indicated that the optimal conditions for production of fermented frozen fried bread stick were found as follows: yeast amount 1.0 % (calculated on the basis of dry flour weight,  $m/m$ ), leavening agent amount 3.0% (calculated also on the basis of dry flour weight,  $m/m$ ), fermentation time 2.4 h, freezing temperature  $-35^{\circ}\text{C}$ , and freezing time 20 min. Under these conditions, the specific volume of fried bread stick was  $(4.54 \pm 0.03)\text{ mL/g}$ .

**Key words:** fermented frozen fried bread stick; specific volume; sensory evaluation; response surface methodology  
中图分类号: TS213.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-6630(2011)21-0193-05

油条是我国传统的早餐食品 and 大众化小吃之一, 价格低廉, 外酥内嫩, 色泽金黄, 咸香适口, 老少皆宜<sup>[1-2]</sup>。它是利用油脂作为热交换介质, 使被炸面团中的淀粉糊化, 蛋白质变性, 水分以蒸汽形式逸出, 形成具有多孔性, 酥脆或外表酥脆的特殊口感, 同时由于面团中的蛋白质、碳水化合物、脂肪及一些微量成分在油炸过程中发生化学变化而产生特殊的风味<sup>[3]</sup>。传统的油条用明矾作为发泡剂, 经常食用导致人体摄入过量的铝, 严重影响脑细胞功能, 导致记忆力下降, 思维迟钝等问题, 对人体健康有害<sup>[4]</sup>。随着人民生活水平的提高和消费观念的改变, 人们日益重视食品的安全性、方便性和营养品质, 对油条品质提出了更高的要求, 因此采用替代含铝膨松剂的配方、健康油条的制作工艺以及速冻油条的研发成为研究的热点<sup>[5-6]</sup>。

目前市场上的油条多数采用分散炸制的方法, 而且

多是个体摊点临时支油锅炸制, 这种传统的手工操作, 不仅生产效率低, 而且环境卫生条件较差, 不利于实施卫生监管。因此, 目前急需发明一种工业化的油条制作工艺, 以便于油条质量的统一监控并能实现油烟等废气的集中治理<sup>[7]</sup>。但是工业化生产仍需保证油条的新鲜性及其营养价值。因此, 速冻半成品油条成为我们的首选, 速冻半成品油条只需在食用时进行复炸, 既保证了油条的食用方便, 又保证了油条的安全卫生<sup>[8]</sup>。市场上销售的速冻油条虽然丰富了我们的早餐, 但是还存在一些问题, 例如含油量高、比容较小、口感发硬等。本实验针对发酵型无铝速冻油条的制作工艺进行研究, 旨在生产方便快捷、安全无毒的无铝油条提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

收稿日期: 2011-06-25

基金项目: 中国博士后科学基金项目(20100480850)

作者简介: 杨念(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品精深加工。E-mail: yangnian01234@163.com

\* 通信作者: 宋晓燕(1976—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为农产品精深加工。E-mail: songxiaoyan2737@163.com

表2 油条评价指标及评分标准  
Table 2 Sensory evaluation standards of fried bread stick

项目	分值	评分标准
色泽	15分	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；色泽发灰、发暗或暗红色1~5分。
外观状态	20分	指油条的外观形状及膨发性。外观形状整齐、对称、光滑，膨发性好为16~20分；中等为10~15分；形状不规则、表面暗淡、粗糙、膨发性差1~9分。
组织结构	20分	指油条横剖面气孔均匀及孔壁厚薄程度。气孔均匀、孔壁厚薄为16~20分；中等为10~15分；气孔小而均匀为1~9分。
弹性	15分	指油条的复原性和咬劲。用手按压油条复原性好，咬劲适中为11~15分；中等为6~10分；复原性差、咬劲小为1~5分。
黏性	15分	指咀嚼过程中，油条的黏牙程度。咀嚼时爽口，不黏牙为11~15分；较爽口为6~10分；不爽口为1~5分。
食味	15分	指品尝时油条的味道。油炸香味、咸香适口、无异味11~15分；中等为6~10分；咸味较浓，无香味，有异味1~5分。

高筋粉 郑州金苑面业有限公司；金龙鱼大豆油 益海嘉里食品营销有限公司；精制食盐、白糖 市购。

高活性干酵母、新型无铝油条膨松剂 安琪酵母股份有限公司。

## 1.2 仪器与设备

HY-81型电热炸炉 广州泓亿机电设备制造有限公司；B5A型多功能搅拌机 广州市威万事实业有限公司；HLSY-II型小型速冻试验机 河南亨利制冷设备有限公司；新南方FX-15S面包发酵箱 广州赛思达机械设备有限公司；JA6102电子天平 上海精天电子仪器有限公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 发酵型速冻油条的制作工艺

分别取500g面粉、6.5g食盐、6.0g糖和300mL水，先将面粉与膨松剂混匀后倒入搅拌机中，用30℃左右的水将酵母活化10min后加入食盐和糖溶解，再加入面粉中，边搅拌边加剩余的水，搅拌5.0min至面团表面光滑取出。面团静置20min后，放入搅拌机搅拌3.0min，将面团表面刷一层大豆油，用保鲜膜包好放在温度为35℃，相对湿度为85%的醒发箱中醒发。醒发结束后将面团用擀面杖擀成厚1.0cm、宽10cm的长条，静置10min后切成长2.5cm的坯条，再将两个坯条合在一起，用竹筷顺条压一下，然后手指轻捏两头拉长至25cm，放入180℃的油炸锅中油炸70s，捞起沥油，室温放置30min冷却后，在-35℃速冻20min，取出用自封袋装好于-18℃的冰箱中保存。

### 1.3.2 单因素试验设计

#### 1.3.2.1 酵母添加量对油条品质的影响

固定膨松剂添加量3.0%（以面粉质量计）、发酵时间3.0h，考察酵母添加量（0~1.2%，以面粉质量计）对油条比容和感官品质的影响。

#### 1.3.2.2 发酵时间对油条品质的影响

选取0.6%、0.8%和1.0% 3个酵母添加水平，膨松剂添加量为3.0%，发酵时间为1~5h，考察发酵时间对油条比容和感官品质的影响。

#### 1.3.2.3 膨松剂添加量对油条品质的影响

固定酵母添加量1.0%、发酵时间3h，膨松剂添加量为2.5%~4.5%，考察膨松剂添加量对油条比容和感官品质的影响。

### 1.3.3 油条工艺的响应面试验设计

结合单因素试验结果，根据中心组合试验Box-Behnken设计方案，选取酵母添加量、膨松剂添加量及发酵时间3个因素为自变量，油条比容为响应值，试验因素水平编码见表1。试验以随机次序进行，采用Design Expert 7.0软件对结果进行响应面分析<sup>[9-10]</sup>。

表1 试验设计因素和水平  
Table 1 Coded values and corresponding actual values of optimization parameters in response surface analysis

因素	水平		
	-1	0	1
X <sub>1</sub> 酵母添加量/%	0.6	0.8	1
X <sub>2</sub> 膨松剂添加量/%	3	3.5	4
X <sub>3</sub> 发酵时间/h	2	3	4

### 1.3.4 比容的测定

将冰箱中冻藏的速冻油条取出，放入180℃的油炸锅中复炸65s，捞起沥油，室温放置30min冷却后，称质量(*m*)，放入500mL量筒，向量筒中倒入小米，淹没油条，轻轻摇实使小米填满量筒，即为油条与小米的总体积(*V*<sub>1</sub>)，再将油条取出，读出小米的体积(*V*<sub>2</sub>)，油条的比容为<sup>[11]</sup>：

$$\text{比容}/(\text{mL/g}) = \frac{V_1 - V_2}{m}$$

### 1.3.5 感官评价

由经过培训的9个人对用不同的配方炸制的油条进行外观、气味、质地、结构组织多方面的感官评定，打分后求平均值得出各配方感官评定的结果，评分标准见表2<sup>[12-15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

## 2.1.1 酵母添加量的选择

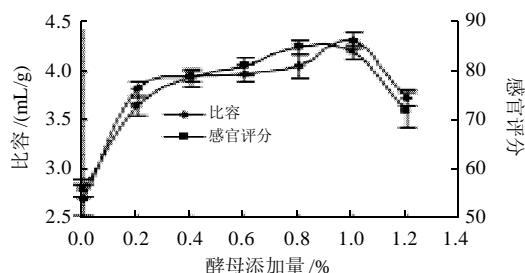


图1 酵母添加量对发酵型速冻油条比容及感官评分的影响

Fig.1 Effect of yeast amount on specific volume and overall sensory evaluation score of fried bread stick

由图1可知,不添加酵母时,面团醒发后较硬,气孔少,油炸时不易浮起,油条口感硬,比容最小。酵母添加量为0.2%~1.0%时,油条比容和感官评分均增加,气孔多而均匀,为金黄色,膨发性好,有淡淡的酵母味。当酵母添加量增为1.0%~1.2%时,油条的比容迅速降低,这是因为酵母量过多使面团醒发后较软,气孔大,醒发过快而导致气孔塌陷。并且,此时油条的酵母味重、味苦,口感不佳。因此,确定酵母添加量的范围为0.6%~1.0%。

## 2.1.2 发酵时间的选择

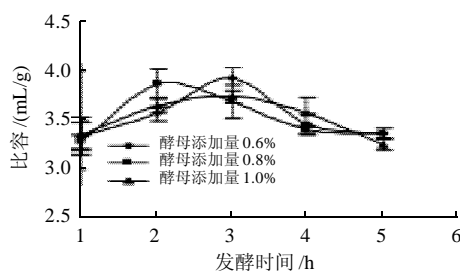


图2 发酵时间对发酵型速冻油条比容的影响

Fig.2 Effect of fermentation time on specific volume of fried bread stick

由图2可知,酵母添加量在0.6%、0.8%、1.0% 3个水平上,随着发酵时间的延长,油条比容均呈现出先增长后下降的趋势。当酵母添加量为0.6%、1.0%时,发酵时间3h,此时面团软,气孔多而均匀,具有最大比容。当酵母添加量为0.8%时,发酵2h时油条比容达到最大值。当发酵时间为1h时,面团硬,筋力强,出条时很难拉长,导致油条比容最低。当发酵时间大于4h时,面团软且发黏、易回缩、气孔大、有的气孔连在一起易塌陷,油条的比容反而降低。

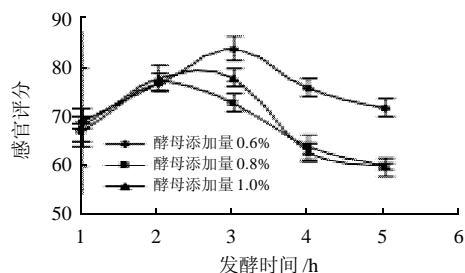


图3 发酵时间对发酵型速冻油条感官评分的影响

Fig.3 Effect of fermentation time on overall sensory evaluation score of fried bread stick

由图3可知,酵母添加量在0.6%、0.8%、1.0% 3个水平上,随着发酵时间的延长,油条感官评分均呈现先增大后减小的趋势。酵母添加量为0.6%、1.0%时,发酵时间3h,油条外观形状整齐,膨发性好,弹韧性好,酥脆爽口,感官评分达到最大值。当发酵时间为1h时,油条外观不整齐,膨发性不好,咬劲差,食味一般;当醒发时间大于4h,油条膨发性不好,酵母味重,口感差。

由以上分析可知,油条比容和感官评分一致。因此,在酵母添加量为0.6%~1.0%时,适宜的发酵时间为2~4h。

## 2.1.3 膨松剂添加量的选择

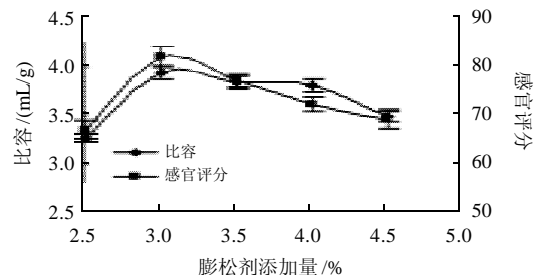


图4 膨松剂添加量对发酵型速冻油条比容及感官评分的影响

Fig.4 Effect of leavening agent amount on specific volume and overall sensory evaluation score of fried bread stick

由图4可知,随膨松剂添加量的不同,油条比容和感官评分呈现:在2.5%~3.0%范围内,随膨松剂添加量的增加油条的比容和感官评分迅速增加。在3.0%~4.5%范围内,随膨松剂添加量的增加,比容和感官评分呈下降趋势。可能是因为膨松剂添加量过多而导致面团气孔塌陷,比容降低,油条外观形状和口感下降。因此,综合考虑膨松剂添加量对油条比容和感官评分的影响,确定3.0%~4.0%为适宜的膨松剂添加量。

## 2.2 响应曲面优化试验设计及结果分析

表3 发酵型速冻油条制作条件的响应曲面试验设计方案及结果

Table 3 Central composite experimental design and results for response surface analysis

试验号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	比容/(mL/g)
1	0	-1	1	3.81
2	0	-1	-1	4.03
3	-1	0	-1	3.50
4	-1	0	1	3.61
5	0	1	1	3.76
6	1	0	-1	4.31
7	0	0	0	4.01
8	0	1	-1	3.67
9	1	0	1	3.68
10	0	0	0	3.95
11	-1	-1	0	3.91
12	0	0	0	4.05
13	0	0	0	4.08
14	0	0	0	4.12
15	1	-1	0	4.53
16	1	1	0	4.26
17	-1	1	0	3.82

表4 响应面试验结果方差分析

Table 4 Analysis of variance for central composite design experimental results

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	1.12	7	0.16	28.07	< 0.0001	**
$X_1$	0.47	1	0.47	82.8	< 0.0001	**
$X_2$	0.074	1	0.074	13.04	0.0056	**
$X_3$	0.053	1	0.053	9.3	0.0138	*
$X_1X_3$	0.14	1	0.14	24.1	0.0008	**
$X_2X_3$	0.024	1	0.024	4.23	0.0699	
$X_2^2$	0.02	1	0.02	3.49	0.0945	
$X_3^2$	0.35	1	0.35	60.98	< 0.0001	**
残差	0.051	9	0.0057			
失拟项	0.034	5	0.0068	1.6	0.3358	
纯误差	0.017	4	0.0043			
总和	1.17	16				

注: \*.05 水平显著; \*\*, 0.01 水平极显著。

由表4方差分析可知,模型的 $F = 28.07$ ,  $P < 0.0001$ ,本试验所选用的模型具有高度的显著性。模型中的一次项 $X_1$ 、 $X_2$ 均极显著, $X_3$ 显著。由 $P$ 值可看出各因素影响油条比容大小的顺序为 $X_1 > X_2 > X_3$ ,即酵母添加量>膨松剂添加量>发酵时间;二次项 $X_3^2$ 极显著;交互项 $X_1X_3$ 极显著。模型的相关系数 $R^2 = 0.9562$ ,表明该模型能够解释95.62%试验数据的变异性。

失拟项 $P = 0.3358 > 0.05$ ,不显著,说明模型设计的拟合程度良好,试验误差小。从响应面上可以形象地看出各因素之间的相互作用,等高线的形状可反映

出交互效应的强弱,椭圆形表示两因素交互作用显著,而圆形则与之相反<sup>[16]</sup>。等高线的坡度越陡表明影响越显著,等高线的坡度越平滑表明影响不显著。 $X_1$ 、 $X_3$ 之间的交互作用对油条比容的影响见图5。

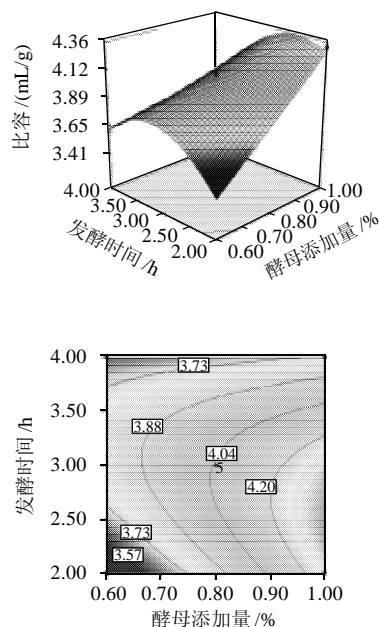


图5 酵母添加量和发酵时间对油条比容影响的响应面及等高线图

Fig.5 Response surface and contour plots showing the interactive effects of yeast amount and fermentation time on specific volume of fried bread stick

由图5可知,保持膨松剂添加量不变,随着酵母添加量的增大,油条的比容呈现逐渐增加的趋势,随着发酵时间的延长,油条比容呈现先增加后下降的趋势。等高线呈椭圆形,酵母添加量等高线坡度表现较陡,发酵时间表现平滑,这说明了在这两因素的交互作用中,酵母添加量对油条比容的影响显著。

通过Design Expert 7.0 统计分析软件的分析,得到响应值动态参数方程如下:

$$Y(\text{比容}) = 4.05 + 0.24X_1 - 0.096X_2 - 0.081X_3 - 0.18X_1X_3 + 0.078X_2X_3 + 0.069X_2^2 - 0.29X_3^2$$

依据模型可知在稳定状态下的比容最优值为4.56mL/g,此时 $X_1 = 1$ 、 $X_2 = -1$ 、 $X_3 = -0.6$ ,与其对应的实际值分别是:酵母添加量1.0%、膨松剂添加量3.0%、发酵时间2.4h。在此条件下进行验证实验,得到油条的比容为 $(4.54 \pm 0.03)\text{mL/g}$ ,与得出的最优值4.56mL/g接近。

## 3 结论

3.1 在单因素试验的基础上,利用Box-Behnken中心

组合试验设计和响应曲面分析得到：各因素影响发酵型速冻油条比容大小的顺序为：酵母添加量>膨松剂添加量>发酵时间。

3.2 发酵型速冻油条生产的最佳工艺条件为：酵母添加量 1.0%、膨松剂添加量 3.0%、发酵时间 2.4h，—35℃条件下速冻 20min，此时油条的比容为(4.54 ± 0.03)mL/g。

#### 参考文献：

- [1] 戴文兵. 油条用二乙酰酒石酸单甘酯的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 4-5.
- [2] 安红周, 薛文通, 李盘欣. 小麦粉对我国传统食品: 油条品质影响的探讨[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(6): 51-55.
- [3] 张国治, 于学军, 浮吟梅. 油炸食品生产技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 183-185.
- [4] 陈建军, 杨双喜, 杨庆荣, 等. 铝对人类健康的影响及相关食品安全问题研究进展[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(7): 1326-1329.
- [5] 苏德胜. 初探油条的原料及加工工艺[J]. 食品科学, 1995, 16(7): 89-71.
- [6] 郭大江, 王凤成, 马铁明. 油条专用粉[J]. 现代面粉工业, 2009, 23(6): 27-29.
- [7] 孙辉, 俞学锋, 杨子忠. 健康油条标准制定的意义和主要指标探讨[C]// 第五届发酵面食产业发展大会. 上海: 中国粮油学会发酵面食分会, 2010: 28-32.
- [8] 张国治, 董少华, 房菁. 无铝速冻油条的品质研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2005, 26(4): 42-43.
- [9] 黄璞, 谢明勇, 聂少平, 等. 响应曲面法优化微波辅助提取黑灵芝孢子多糖工艺研究[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 200-203.
- [10] 丁胜弟, 黄卫宁, 邹奇波. 中式油条中丙烯酰胺含量的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 143-148.
- [11] 王宏, 丁玉勇. 无铝鸡蛋油条配方的研制[J]. 粮油食品科技, 2006, 14(1): 32-33.
- [12] 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.
- [13] 戴文兵, 马晓军, 冯友刚. 油条制作与面粉性质相关性的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(5): 122-124.
- [14] 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.
- [15] 刁恩杰, 李向杨. 油条中丙烯酰胺含量的控制研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(1): 121-123.
- [16] 吴华勇, 黄赣辉, 顾振宇, 等. 响应曲面法优化竹叶总黄酮的提取工艺研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 196-200.