

## 发酵空心挂面的配方优化

王 婷, 刘 , 郑学玲

### Formula Optimization of Fermented Hollow Noodles

WANG Ting, LIU Chong, and ZHENG Xuelling

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021090261>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 酵母种类对空心挂面品质的影响

Effect of Yeast Species on Quality of Empty-inside Noodle

食品工业科技. 2021, 42(10): 62-67

#### 响应面结合主成分分析优化面片配方

Optimization of Instant Dough Slice Formula by Response Surface-Principal Component Analysis

食品工业科技. 2021, 42(21): 197-204

#### 绿茶、洋葱皮水提物对面团粉质特性、面条保鲜效果、蒸煮特性及抗氧化性能的影响

Effect of aqueous extract of green tea and onion peel on farinograph properties of dough and preservation, cooking characteristics and antioxidant capacities of noodles

食品工业科技. 2018, 39(2): 61-64,69

#### 模糊数学感官评价法优化猕猴桃果糕制作配方

Optimization of Processing Formula of Kiwifruit Cake by Fuzzy Mathematical Sensory Evaluation

食品工业科技. 2020, 41(19): 212-218,351

#### 响应面法优化富含鱼骨钙低温鱼肉香肠配方

Optimization of the Formula of Fish-based Chilled Sausage Rich in the Calcium of Fish Bone by Response Surface Methodology

食品工业科技. 2021, 42(14): 188-195

#### 木薯全粉面条配方的优化

Optimization of formula of cassava whole flour noodle

食品工业科技. 2018, 39(3): 187-193,200



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王婷, 刘翀, 郑学玲. 发酵空心挂面的配方优化 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 231–239. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090261

WANG Ting, LIU Chong, ZHENG Xueling. Formula Optimization of Fermented Hollow Noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(12): 231–239. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090261

· 工艺技术 ·

# 发酵空心挂面的配方优化

王 婷, 刘 翀\*, 郑学玲\*

(河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001)

**摘 要:**机械制作的发酵空心挂面是近年来市场出现的营养风味型挂面新产品, 但目前关于配方对机械制作发酵空心挂面品质的影响尚不明确。本文利用直接发酵法制作发酵空心挂面, 通过单因素实验考察了酵母、食盐和水在面粉中不同的添加量对发酵空心挂面蒸煮特性、质构特性和感官品质的影响, 在此基础上利用响应面 Box-Behnken 试验对发酵空心挂面的配方进行了优化。结果表明: 发酵空心挂面的最佳配方为: 以面粉质量计, 酵母添加量 0.83%、食盐添加量 0.64%、水添加量 33.67%, 该优化条件下制得的发酵空心挂面综合评定值为 0.909, 与模型预测值综合评价 0.932 基本一致, 表明其风味较好、口感爽滑、蒸煮和质地品质俱佳; 食盐添加量和加水量对发酵空心挂面的咀嚼性有极显著性影响 ( $P<0.01$ ), 酵母添加量和加水量对感官总分有显著性影响 ( $P<0.05$ ), 食盐添加量对蒸煮损失有极显著影响 ( $P<0.01$ )。本研究可为机械制作的发酵空心挂面的生产提供理论和技术指导。

**关键词:**发酵空心挂面, 酵母, 机械制作, 蒸煮特性, 质构特性, 配方优化

中图分类号: TS213.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)12-0231-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090261

本文网刊:



## Formula Optimization of Fermented Hollow Noodles

WANG Ting, LIU Chong\*, ZHENG Xueling\*

(College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Machine-made fermented hollow noodles are a new nutritious flavored noodle product that appeared in the market in recent years, however, the influence of the formula on the quality of machine-made fermented hollow noodles is still unclear. In this paper, the direct fermentation method was used to make fermented hollow noodles. The effects of different addition amounts of yeast, salt, and water in flour on the cooking characteristics, texture characteristics, and sensory quality of fermented hollow noodles were investigated by a single factor experiments. On this basis, the formula of fermentation hollow noodle was optimized by response surface Box-Behnken experiment. The results showed that the best formula for fermented hollow noodles was: Based on the quality of flour, the amount of yeast added was 0.83%, the amount of salt added was 0.64%, and the amount of water was 33.67%. The evaluating value of the fermented hollow noodles under the optimized conditions was 0.909, which was consistent with the evaluating value of 0.932 predicted by the model, indicating that its flavor was good, the taste was smooth, cooking and texture characteristics were excellent. The addition of salt and water had extremely significant effects on the chewiness of the fermented hollow noodles ( $P<0.01$ ), the addition of yeast and water had a significant effect on the total sensory score ( $P<0.05$ ), and the addition of salt had a very significant effect on the cooking loss ( $P<0.01$ ). This research could provide theoretical and technical guidance for the production of machine-made fermented hollow noodles.

**Key words:** fermented hollow noodles; yeast; mechanical production; cooking characteristics; texture characteristics; formula optimization

收稿日期: 2021-09-23

**基金项目:** 国家小麦产业技术体系产后加工和利用专项资金项目 (CARS-03); 河南工业大学自科创新基金一般项目 (2020ZKCJ12): 复杂谷物食品基质中淀粉结构-功能关系及其定向调控研究; 河南省科技攻关项目 (212102110079): 活性酵母发酵空心挂面品质提升技术研究。

**作者简介:** 王婷 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 淀粉加工理论与技术, E-mail: 15738844638@163.com。

**\* 通信作者:** 刘翀 (1978-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 淀粉加工理论与技术, E-mail: liuachong@126.com。

郑学玲 (1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 淀粉加工理论与技术, E-mail: xlzhenghau@126.com。

空心挂面的历史发展悠久,以其高品质而闻名。市场上的发酵挂面主要有手工和工业化空心挂面。手工空心挂面经过自然发酵,其外表光滑圆润如银丝,内部有大量微孔,在煮制时水分容易进入到面条内部,且营养价值高<sup>[1]</sup>。然而传统手工空心挂面在制作时需要经过长达 20 h 的自然发酵和 20 多次的手工拉伸,在制作中还要加入大量的盐,制作工艺复杂而且不利于人体健康<sup>[2]</sup>。传统的手工空心挂面已经难以满足市场的需求。工业化发酵空心挂面,又名机械制作空心挂面。在制作时采用压面机压片替代手工拉面,酵母发酵替代自然发酵,其生产工艺简单,易于规模化生产,具有广阔的市场前景。

近年来,国内外学者对发酵面条的研究也表现出极大的兴趣。Fois 等<sup>[3]</sup>利用全麦酸面团制作意大利鲜面条,表明发酵后的面条感官得分和营养成分的含量更高。Marco 等<sup>[4]</sup>更是提出了将酸面团发酵技术应用于意大利面的生产中的设想。于小磊等<sup>[5]</sup>通过利用酵母发酵对荞麦鲜面条的工艺研究发现,酵母和水的添加量对发酵面条的品质影响较大。日本学者<sup>[6]</sup>通过扫描电镜观察发现耐盐酵母参与手工空心挂面中空心的形成。Wang 等<sup>[2]</sup>探讨了食盐的添加对手工空心挂面面团的流变学性质的影响机理。Xiong 等<sup>[7]</sup>探讨了面粉的原料品质对机制空心挂面的影响,并为优质空心挂面的原料选择提供了理论依据。张蕴华等<sup>[8]</sup>探究了酵母的种类和添加量对空心挂面的品质影响。Wang 等<sup>[9]</sup>在研究食用碱对空心挂面的影响中发现  $\text{NaHCO}_3$  可以提高面条的品质。以上研究大多集中在对发酵鲜面条和手工空心挂面上,对机械制作发酵空心挂面的研究还尚未涉及到配方的差异对空心挂面品质的影响。

因此本文利用直接发酵法制作机械制作发酵空心挂面,通过研究酵母、食盐、水在面粉中不同的添加量对发酵空心挂面的蒸煮特性、质构特性和感官品质的影响,对发酵空心挂面进行配方的优化,以期获得品质较好的发酵空心挂面,为工业化生产发酵空心挂面提供技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

小麦粉(蛋白质含量为 10.80%、水分含量为 12.24%、灰分含量为 0.35%) 山东鲁花(延津)面粉食品有限公司;燕子即发干酵母 广西丹宝利酵母有限公司;食盐 河南省盐业总公司;食品级自封袋 河南新丰化验器材有限公司;实验用水均为蒸馏水。

JHMZ-200 型针式和面机 北京东孚久恒仪器技术有限公司;SP-18S 型醒发箱 江苏三麦食品机械有限公司;JMTD-168/140 型实验压片机 北京东孚久恒仪器技术有限公司;SYT-030 型智能挂面干燥实验台 中国包装和食品机械有限公司;C22-IH91 型电磁炉 浙江苏泊尔股份有限公司;LG-01 型高速粉碎机 浙江瑞安市百信制药机械有限公司;TA.

XT 2i 型物性测试仪 英国 Stable Micro Systems 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 面条的制作和干燥 直接发酵法:将 200 g 小麦粉和一定量的酵母倒入针式和面机混匀,食盐于蒸馏水中溶解,再将盐水倒入针式和面机和面 7 min。将和好的面絮在 30 ℃ 的醒发箱中醒发 30 min 后,在面条机上通过 3.0 辊距进行复合压延 4 次,再将面片依次通过 2.0、1.8、1.6、1.4、1.2、1.0 mm 的轧距,之后把面片切成 3.0 mm 宽、1.0 mm 厚的面条挂杆。面条的干燥工艺参考 Xiong 等<sup>[7]</sup>的方法,并略作改动。将挂杆后的面条放入智能干燥实验台进行四个阶段的干燥:第一阶段温度为 35 ℃,相对湿度为 85%,干燥 1.75 h;第二阶段温度 40 ℃,相对湿度 75%,干燥 2.75 h;第三阶段温度不变,湿度降为 68%,干燥 1.25 h;第四阶段温度 32 ℃,湿度降为 65%,干燥 1.25 h,干燥后挂面的水分含量在 11%~12.5%。最后将制备好的挂面样品置于自封袋中密封,室温下保存待测。

1.2.2 单因素实验 以面粉质量计(100%),对酵母添加量、食盐添加量、蒸馏水添加量三个因素进行单因素实验,分别考察各因素对发酵空心挂面的蒸煮特性、质构特性、感官品质的影响,确定最优配方工艺。

1.2.2.1 酵母添加量的确定 固定食盐添加量为 0.5%,蒸馏水添加量为 32%,参考熊小青等<sup>[10]</sup>的研究考察 0.4%~1.2% 酵母添加量对发酵空心挂面品质的影响。未发酵挂面为对照组(0% 酵母添加量)。

1.2.2.2 食盐添加量的确定 固定酵母添加量 0.8%,蒸馏水添加量为 32%,参考 Hutton 等<sup>[11]</sup>的研究,考察 0~2.0% 食盐添加量对发酵空心挂面品质的影响。

1.2.2.3 蒸馏水添加量的确定 固定酵母添加量 0.8%,食盐添加量 0.5%,参考 Ye 等<sup>[12]</sup>的研究,考察 28%~36% 蒸馏水添加量对发酵空心挂面品质的影响。

1.2.3 Box-Behnken Design 试验设计 为了达到优化的目的,结合单因素实验结果,采用三因素三水平进行实验设计,Box-Behnken Design 响应面优化(RSM)设计建立模型,分析酵母、食盐、水等自变量的合适的添加量。以咀嚼性、蒸煮损失率、感官总分的统一量纲指标综合评价值为响应值,确立自变量与响应函数之间的统计模型,见表 1。

### 1.3 发酵空心挂面品质评定方法

1.3.1 蒸煮特性的测定 参考刘健飞等<sup>[13]</sup>的方法进行测定。取约 10 g 的挂面并准确记录质量,放入 500 mL 的沸水中,计时煮制 3 min 后,每隔 30 s 用两片载玻片挤压面条直至白芯消失为止,即为最佳蒸煮时间。将煮至最佳蒸煮时间的面条捞出,放入 200 mL 的冷水中静置 30 s,然后用双层滤纸覆盖吸

表 1 Box-Behnken Design 试验设计  
Table 1 Design and experimental of Box-Behnken

因素(%)	水平		
	-1	0	1
酵母添加量(X <sub>1</sub> )	0.8	1.0	1.2
食盐添加量(X <sub>2</sub> )	0.5	1.0	1.5
加水量(X <sub>3</sub> )	32	34	36

水静置 5 min 后称重,将冷水和煮后的面汤倒入 1000 mL 的容量瓶中定容。每个样品做三次平行。

$$\text{干物质吸水率}(\%) = \frac{(m_1 - m_0)}{[m_0 \times (1 - w)]} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{m \times 20}{[m_0 \times (1 - w)]} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

式中: m<sub>1</sub> 为煮后挂面质量, g; m<sub>0</sub> 为煮前挂面质量, g; m 为 50 mL 定容面汤的烘干后的干物质质量, g; w 为挂面的水分含量, %。

1.3.2 质构特性的测定 挂面煮后质构特性的测定参照 Liu 等<sup>[14]</sup> 的方法。选择 HDP/PFS 型探头,测定参数按照测前速度: 2 mm/s, 测中速度: 0.8 mm/s, 测后速度: 0.8 mm/s, 触发力: Auto-10.0 g, 压缩程度: 75%, 两次压缩时间间隔: 5 s, 以硬度、粘附性、弹性、咀嚼性作为 TPA 实验分析参数。

挂面煮后拉伸试验: 采用质构仪 A/SPR 型探头,测定参数按照测前速度: 2 mm/s, 测中速度: 2 mm/s, 测后速度: 10 mm/s, 最大拉伸距离: 120 mm, 起始距离: 20 mm, 触发力: Auto-5.0 g, 每个试样作 6 次平行实验。

1.3.3 感官评价 由 10 名粮油食品专业的学生组成感官评价小组,年龄在 23~30 岁之间。参照 LS/T 3212-2014《挂面》的评价体系,对发酵空心挂面进行感官评价(表 2),最终将感官总分作为分析指标。

1.3.4 综合评定值 发酵空心挂面品质优劣的综合评定主要是针对两个方面,感官品质和蒸煮品质。煮熟面条的质地是决定消费者接受产品的最关键的特征<sup>[15]</sup>,质构特性主要包括硬度、粘附性、弹性、咀嚼性等特性指标,且各参数间存在一定的内在联系,而咀嚼性=硬度×弹性×内聚性<sup>[16]</sup>,具有代表性,故选用咀嚼性为评价价值之一。利用线性型功效系数法将咀嚼性、蒸煮损失、感官评价总分等指标进行统一量纲<sup>[17]</sup>。

$$\text{咀嚼性 } Y'_1 = (Y_1 - Y_{1\min}) / (Y_{1\max} - Y_{1\min});$$
$$\text{蒸煮损失率 } Y'_2 = 1 - (Y_2 - Y_{2\min}) / (Y_{2\max} - Y_{2\min});$$
$$\text{感官评分总分 } Y'_3 = (Y_3 - Y_{3\min}) / (Y_{3\max} - Y_{3\min});$$

式中: Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>、Y<sub>3</sub>、分别为实验中咀嚼性、蒸煮损失率、感官评分总分的测定值; Y<sub>1 max</sub>、Y<sub>2 max</sub>、Y<sub>3 max</sub> 实验中各项指标的最大值; Y<sub>1 min</sub>、Y<sub>2 min</sub>、Y<sub>3 min</sub> 为实验中各指标的最小值。因此用 Y<sub>2</sub>' 的最大值表示统

表 2 发酵空心挂面感官评价标准  
Table 2 Sensory evaluation criteria of fermented dried noodles

项目	满分(分)	评分标准	得分(分)
色泽	10	面条颜色乳白、奶黄色,光亮	8~10
		面条颜色正常,亮度一般	5~7
		颜色发暗、发灰,亮度差	1~4
表面状态	10	表面结构均匀、光滑	8~10
		表面结构均匀但有破损,较光滑	5~7
		表面粗糙、变形严重,不光滑	1~4
软硬度	20	咬断力用力适中	17~20
		稍偏硬或偏(适口性)软	12~16
		太硬或太软	1~11
粘弹性	30	不粘牙、有咬劲、富有弹性	27~30
		微粘牙,弹性略低	18~26
		不爽口、粘牙、咬劲差	1~17
爽滑性	20	口感爽滑	17~20
		较爽滑	12~16
		爽滑性差	1~11
食味	10	具有发酵清香味,无异味	8~10
		基本无异味	5~7
		有异味	1~4

一量纲后蒸煮损失率的最小值, Y<sub>1</sub>'、Y<sub>3</sub>' 分别表示统一量纲后咀嚼性和感官评价总分的最大值。为获得高品质的发酵空心挂面的配方参数,对三个试验指标进行加权分配采用线性加权法,赋予各指标一定的权重系数,再进行综合优化计算。参考吴丹<sup>[17]</sup>、吴港城等<sup>[18]</sup> 的研究,将咀嚼性、蒸煮损失率、感官评分分配权重系数 λ<sub>1</sub>、λ<sub>2</sub>、λ<sub>3</sub> 分别赋值为 0.2、0.2、0.6,且 λ<sub>1</sub>+λ<sub>2</sub>+λ<sub>3</sub>=1。优化试验的综合评定值 Y 取为咀嚼性、蒸煮损失、感官评价总分指标加权后统一量纲的总和。

1.4 数据处理

利用 Excle 2010 和统计软件 SPSS 26.0 对试验数据进行单因素方差分析处理和显著性分析,采用 Duncan、Tamhane T2 数据分析方法对数据进行检验、多重比较和显著性分析。借助 Origin 2021 绘图软件作图,利用 Design Expert 8.0.6 软件进行 Box-Behnken Design 试验设计和回归分析,实验结果表示为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 酵母、食盐、水的添加量对发酵空心挂面蒸煮特性的影响

2.1.1 酵母添加量对发酵空心挂面蒸煮特性的影响

由图 1A 可知,随着酵母量的增加,发酵空心挂面蒸煮后面条的最佳蒸煮时间呈现先增加后降低的趋势,0.8% 酵母添加量的最佳蒸煮时间最大。低添加量酵母(0.4%~0.6%)制作的空心挂面蒸煮时间降低,可能是由于挂面经发酵和干燥后,其内部产生的细小孔洞加快了热水进入挂面内部的速度,降低了煮制时间。高添加量酵母(1.0%~1.2%)制作的空心挂面蒸煮时间与对照组差异不大甚至反而增加,这可能是由



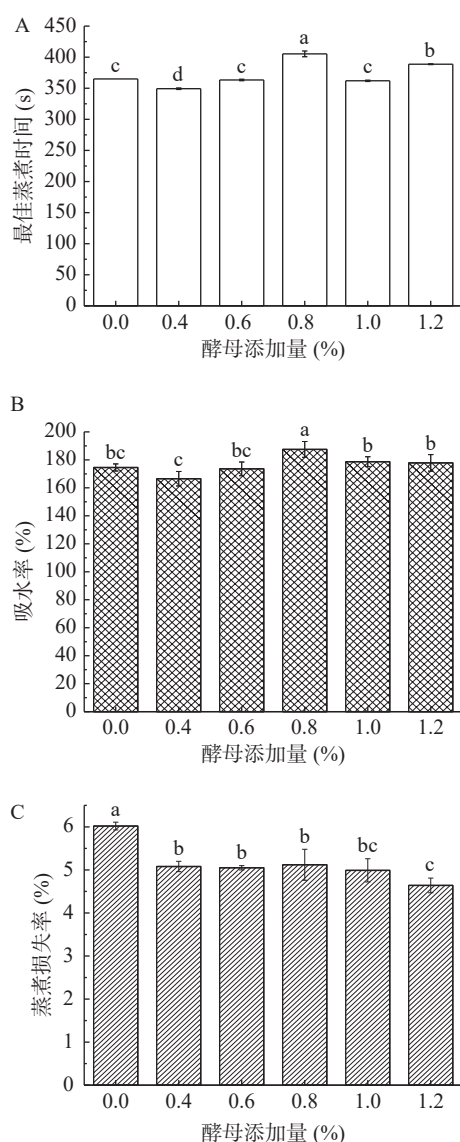


图1 酵母添加量对发酵空心挂面蒸煮特性的影响

Fig.1 Effects of yeast addition on cooking properties of fermented hollow noodles

注:不同小写字母表示不同添加量之间差异显著( $P<0.05$ ),相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ );图2~图4同。

于发酵使得面条产气膨胀,导致面体明显增厚,进而抵消了由于多孔结构造成的蒸煮时间下降的效应,因此,微孔挂面可以提高面条的复水性。

图1B可以看出,面条的吸水率呈现先增加后降低的趋势,同样在0.8%酵母添加量下面条的吸水率最大。吸水率的增加一方面可能是煮面时间过长导致<sup>[19]</sup>;另一方面酵母发酵产气使得淀粉颗粒膨胀空间增大,导致加热时淀粉吸水膨胀受到的阻力减小也会导致吸水率增加<sup>[8]</sup>。吸水率的降低可能是蒸煮时间减少造成的。

蒸煮损失是指干物质(一般是直链淀粉、可溶性非淀粉多糖、可溶性蛋白等)流失到面条的烹调水中的重量<sup>[20]</sup>。由图1C可知,酵母添加量越高,蒸煮损失率越低,可能是由于面条在发酵过程中会发生轻微水解<sup>[21]</sup>,酵母利用了其产生的可溶性多糖,因而在蒸

煮时面汤中的溶出较少。一般来说,蒸煮品质较高的面条具有较低的蒸煮损失<sup>[22]</sup>,因此1.2%酵母添加量的发酵空心挂面具有较好的蒸煮品质。

## 2.1.2 食盐添加量对发酵空心挂面蒸煮特性的影响

从图2A和图2B可以看出,面条的最佳蒸煮时间和吸水率随加盐量的增加而递减。从不含盐的到加盐量2.0%,面条的最佳蒸煮时间减少了2 min,最佳蒸煮时间的降低可能是由于食盐的增加使面筋蛋白与外界水分交换速度加快。而且食盐添加量越高,最佳蒸煮时间越短,是因为大量的盐从面条中浸出到蒸煮水中,提高了沸点,从而缩短了面条的最佳烹调时间<sup>[23]</sup>。然而,随着加盐量的增大,面条的吸水率显著降低( $P<0.05$ ),一方面是由于食盐阻碍了面筋蛋白的吸水膨胀,促使面筋强化,降低了面条的吸水率<sup>[24]</sup>;另一方面可能是食盐的增加,降低了面筋蛋白表面带电氨基酸的静电排斥,这反过来又诱导了蛋白质更强的疏水相互作用,从而导致面筋网络的增强,

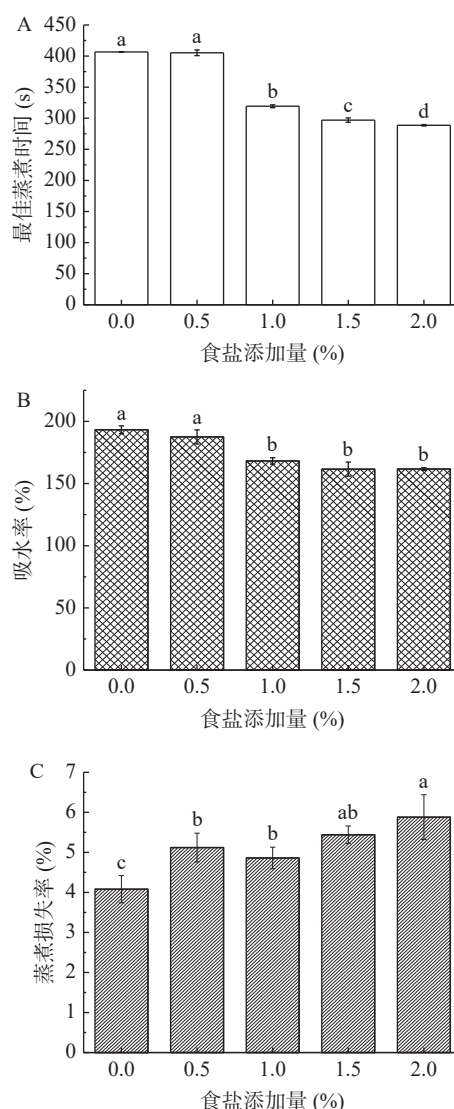


图2 食盐添加量对发酵空心挂面蒸煮特性的影响

Fig.2 Effects of salt addition on cooking properties of fermented hollow noodles

面条的吸水率降低<sup>[25]</sup>。此外,面条的蒸煮时间减少也会导致吸水率降低。

从图 2C 可知,面条的蒸煮损失率随着加盐量的增加而递增,可能是这可能是由于食盐本身溶解到水中或盐溶蛋白的溶解造成的<sup>[26]</sup>。图 2 可知,食盐量越低,发酵空心挂面具有的蒸煮品质越好。

**2.1.3 加水量对发酵空心挂面蒸煮特性的影响** 由图 3A 可知,加水量从 28% 增加到 34%,面条的最佳蒸煮时间逐渐增加,在 34% 加水量时达到最大值。这可能是由于随着加水量的增大,面条的发酵程度高,厚度增大,导致其最佳蒸煮时间增大;但加水量过高时(36%),面团的持气能力下降,导致了面条在干燥过程中的厚度反而降低,从而引起了最佳蒸煮时间的显著降低( $P<0.05$ )。

由图 3B 可以看出,加水量从 28% 增加到 36%,面条的吸水率随 163.13% 增加到 199.22%,可能是因为加水量越大,面条在制作过程中面筋蛋白吸水充分,导致面条在煮制过程后淀粉颗粒体积膨胀,从

而使吸水率增加<sup>[27]</sup>。

由图 3C 可知,面条的蒸煮损失率随加水量的增加呈先增加后降低的趋势,但不同加水量的面条样品的蒸煮损失率无显著性差异( $P>0.05$ )。由图 3 可知,36% 加水量的发酵空心挂面的蒸煮特性较好。

## 2.2 酵母、食盐、水的添加量对发酵空心挂面质构特性的影响

### 2.2.1 酵母添加量对发酵空心挂面质构特性的影响

由表 3 可知,与对照组相比,随酵母添加量的增加,面条的硬度呈先增加后降低的趋势。在 0.4% 酵母量下面条的硬度达到最大值 4633.37 g。且发酵面条的硬度均比未发酵的对照组要高,可能是由于挂面在发酵过程中,面粉中的单糖、二糖作为一种塑化剂被酵母所利用,从而使面条形成坚硬的质地<sup>[28]</sup>。与对照组相比,发酵面条的粘附性也显著降低( $P<0.05$ ),可能是由于单糖或低分子糖被酵母利用,减少了溶出物质,也减少了面条表面的粘附性物质<sup>[29]</sup>。发酵面条的咀嚼性随酵母添加量增加而降低,可能是由于硬度下降导致的<sup>[16]</sup>。此外,面条在发酵过程中直链淀粉的长度缩短,产生的短链淀粉和  $\text{CO}_2$  可以增加面条的柔软度,也会降低面条的咀嚼性<sup>[30]</sup>。面条的拉伸特性和硬度的变化趋势相同,0.4% 酵母量下面条的拉断力达到最大 50.10 g,0.6% 酵母量的面条的拉断距离达到最大值 42.77 mm,对照组面条的拉断距离则是最低值 30.14 mm。

### 2.2.2 食盐添加量对发酵空心挂面质构特性的影响

从表 4 可以看出,随着食盐添加量的增加,面条的硬度逐渐增加,但 0%~1.5% 含盐量面条的硬度之间无显著性差异( $P>0.05$ ),2.0% 加盐量的挂面煮后的硬度最大,且显著( $P<0.05$ )高于 1.0% 含盐量面条之外的其他样品组。在水化及和面的过程中,由于食盐的添加,掩盖了面筋蛋白表面的电荷,减少了蛋白之间的静电排斥,促使蛋白质之间更紧密的聚集<sup>[24]</sup>,从而使面条在蒸煮后变得更硬。粘附性与煮后面条渗出淀粉的颗粒有关,对于挂面而言,食盐添加量增大,面条的粘附性也会增大<sup>[23]</sup>。盐可以增加面筋网络的强度且对淀粉糊有一些影响,但本实验中可能还要综合考虑发酵对蛋白质降解和淀粉的水解程度。面条咀嚼性的变化趋势与硬度的变化相一致。随着加盐量的增大,面条的拉断力逐渐增加,在 0%~1.5% 含盐量面条的拉断力之间无显著性差异( $P>0.05$ ),2.0% 含盐量面条的拉断力达到最大 55.44 g,且显著高于其他含盐量的样品( $P<0.05$ );而拉断距离先降低后增加,说明食盐的增加改善了面筋网络结构,因此面条的拉断力增大。2.0% 含盐量的面条的拉断力和拉断距离都是最大的,可能是与面条的硬度有关。

**2.2.3 加水量对发酵空心挂面质构特性的影响** 由表 5 可知,随着加水量的增加,面条的硬度逐渐下降,对粘附性和也有相似的影响。面条的咀嚼性逐渐降

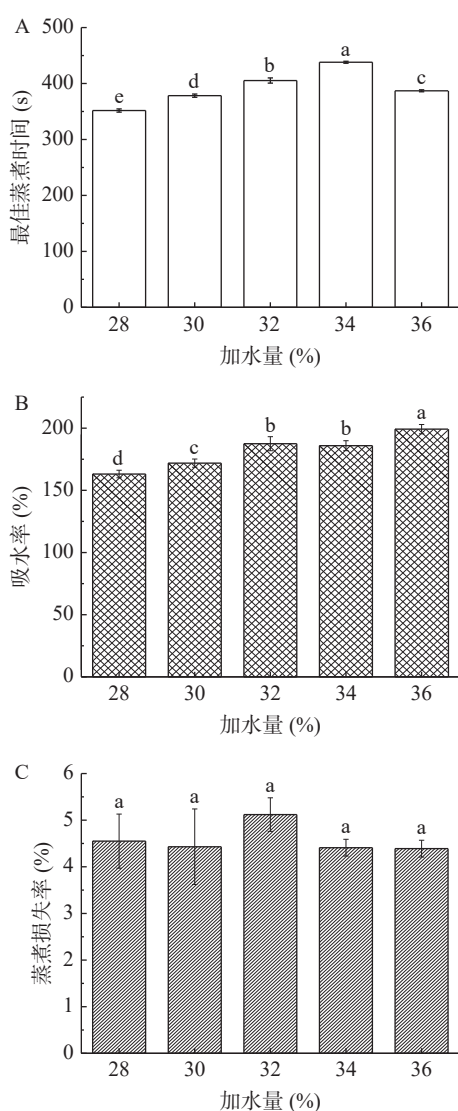


图 3 加水量对发酵空心挂面蒸煮特性的影响

Fig.3 Effects of water addition on cooking properties of fermented hollow noodles

表 3 酵母添加量对发酵空心挂面质构特性的影响

Table 3 Effect of different addition of yeast on textural properties of fermented hollow noodles

添加量(%)	硬度(g)	粘附性(g. sec)	咀嚼性	拉断力(g)	拉断距离(mm)
0.0	3936.80±105.90 <sup>b</sup>	174.55±23.62 <sup>a</sup>	3123.90±123.71 <sup>ab</sup>	44.14±5.79 <sup>b</sup>	30.14±3.29 <sup>c</sup>
0.4	4633.37±296.05 <sup>a</sup>	109.53±12.89 <sup>b</sup>	3418.30±177.76 <sup>a</sup>	50.10±2.96 <sup>a</sup>	42.64±5.31 <sup>a</sup>
0.6	4586.74±244.91 <sup>a</sup>	105.73±31.06 <sup>b</sup>	3343.51±218.73 <sup>ab</sup>	49.97±2.16 <sup>a</sup>	42.77±4.13 <sup>a</sup>
0.8	4299.42±149.07 <sup>ab</sup>	102.54±21.04 <sup>b</sup>	3052.82±257.17 <sup>ab</sup>	46.48±2.44 <sup>ab</sup>	36.78±4.08 <sup>b</sup>
1.0	4236.86±277.96 <sup>ab</sup>	123.90±22.11 <sup>b</sup>	3010.00±332.67 <sup>ab</sup>	48.20±2.77 <sup>ab</sup>	40.12±2.28 <sup>ab</sup>
1.2	4237.11±274.92 <sup>ab</sup>	82.04±24.91 <sup>b</sup>	2950.67±207.79 <sup>b</sup>	44.73±2.13 <sup>ab</sup>	30.82±2.29 <sup>c</sup>

注: 同类型同列相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ ), 同类型同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ); 表4~表5同。

表 4 食盐添加量对发酵空心挂面质构特性的影响

Table 4 Effect of different addition of salt on textural properties of fermented hollow noodles

添加量(%)	硬度(g)	粘附性(g. sec)	咀嚼性	拉断力(g)	拉断距离(mm)
0.0	4384.07±159.50 <sup>b</sup>	107.75±36.73 <sup>b</sup>	3188.66±122.24 <sup>b</sup>	48.08±3.43 <sup>b</sup>	37.34±2.46 <sup>ab</sup>
0.5	4299.42±149.07 <sup>b</sup>	102.54±21.04 <sup>b</sup>	3052.82±257.17 <sup>b</sup>	46.48±2.44 <sup>b</sup>	36.78±4.08 <sup>ab</sup>
1.0	4509.80±209.15 <sup>ab</sup>	241.76±16.76 <sup>a</sup>	3173.74±292.66 <sup>b</sup>	48.37±5.07 <sup>b</sup>	37.56±3.54 <sup>ab</sup>
1.5	4422.04±334.72 <sup>b</sup>	115.33±17.56 <sup>b</sup>	3305.84±186.21 <sup>ab</sup>	48.31±3.95 <sup>b</sup>	36.17±1.70 <sup>b</sup>
2.0	4849.10±177.17 <sup>a</sup>	222.93±5.81 <sup>a</sup>	3632.36±120.69 <sup>a</sup>	55.44±5.81 <sup>a</sup>	43.32±7.07 <sup>a</sup>

表 5 加水量对发酵空心挂面质构特性的影响

Table 5 Effect of different addition of water on textural properties of fermented hollow noodles

添加量(%)	硬度(g)	粘附性(g. sec)	咀嚼性	拉断力(g)	拉断距离(mm)
28	5212.20±324.79 <sup>a</sup>	124.33±19.91 <sup>a</sup>	3708.89±134.11 <sup>a</sup>	57.67±1.26 <sup>a</sup>	36.45±2.22 <sup>a</sup>
30	4993.22±103.21 <sup>ab</sup>	95.18±16.54 <sup>ab</sup>	3513.84±221.78 <sup>a</sup>	54.27±2.72 <sup>ab</sup>	30.58±2.84 <sup>b</sup>
32	4299.42±149.07 <sup>c</sup>	102.54±21.04 <sup>ab</sup>	3052.82±257.17 <sup>b</sup>	46.48±2.44 <sup>c</sup>	36.78±4.08 <sup>a</sup>
34	4762.81±217.42 <sup>b</sup>	68.10±14.31 <sup>b</sup>	3034.96±130.45 <sup>b</sup>	53.36±2.94 <sup>b</sup>	39.34±3.73 <sup>a</sup>
36	3663.07±134.71 <sup>d</sup>	86.87±8.55 <sup>b</sup>	2584.00±100.34 <sup>c</sup>	46.66±3.39 <sup>c</sup>	38.38±2.96 <sup>a</sup>

低, 可能是因为随加水量的增加, 加速了面团中蛋白质的吸水膨胀, 其硬度下降引起的<sup>[31]</sup>。Larrosa 等<sup>[32]</sup>也在对意大利面的研究中发现熟面条的咀嚼性和面团水分成反比。加水量较低时, 面条的拉断力和拉断距离较大可能与面条的硬度有关。当加水量增加到 30% 以上时, 面筋蛋白充分吸水膨胀彼此交联, 使面条的拉断距离也增加<sup>[33]</sup>; 然而过多的水分反而会弱化了面筋网络结构, 可能与水对面团的塑化作用有关<sup>[13]</sup>。加水量较适宜时, 面筋蛋白充分吸水膨胀彼此交联, 可以改善熟面条的拉伸特性。

### 2.3 酵母、食盐、水的添加量对发酵空心挂面感官品质和综合评定值的影响

不同酵母、食盐、水的添加量对发酵空心挂面感官品质和综合评定值的影响如图 4 所示。随酵母、食盐、水添加量的增大, 消费者对发酵挂面的感官评价总分呈先增大后减小的趋势。感官得分的差异可能与面条的发酵程度有关, 发酵程度适宜时, 面条增厚; 过度时面条厚度则会降低。2.0% 食盐添加量感官得分较高, 可能与蒸煮后面条的硬度有关<sup>[34]</sup>。

由图 4 可知, 1.0% 酵母添加量、0.5% 食盐添加量、34% 加水量制作的发酵空心挂面在各自添加量范围内的综合评定值最高, 因此选择上述添加量作为配方优化各因素的响应面范围参考。

### 2.4 响应面结果分析

2.4.1 响应面法设计与试验结果 响应面优化方案和结果见表 6。采用回归方程 Design-export 软件对表 6 数据进行处理和回归分析, 得到如下回归方程:

基于变量:

$$Y=+0.77-0.080X_1-0.027X_2-0.098X_3+0.087X_1X_2+0.093X_1X_3+0.16X_2X_3+0.045X_1^2-0.10X_2^2-0.24X_3^2$$

对回归方程进行方差分析和可信度分析, 结果见表 7。

由表 7 可以看出: 模型  $F$  值为 38.85,  $P$  值小于 0.0001, 说明二次回归方程与试验结果拟合度较好, 可以很好地反映各因素对响应值的影响; 失拟项  $P$  值为 0.5577, 大于 0.05, 表明非实验因素对实验结果的影响较小; 建立的模型的判定系数  $R^2=0.9804$ ,  $R^2_{Adj}=0.9562$ , 二者差值小于 0.2, 再次说明模型可靠。由  $F$  值检验可知, 综合评定值与全体自变量之间的关系高度显著; 影响综合评定值(发酵空心挂面品质)的因素主次为:  $C>A>B$ , 即加水量的影响最大, 其次是酵母量, 最后是加盐量。此外, 交互项  $BC$ 、 $C^2$  对综合评定值的影响极显著( $P<0.001$ ),  $AB$ 、 $AC$ 、 $B^2$  等的交互作用也对综合评定值有显著性影响( $P<0.05$ ), 其他因素不显著。因此可知, 该回归方程为发酵空心挂面配方的优化提供了一个良好的模型。



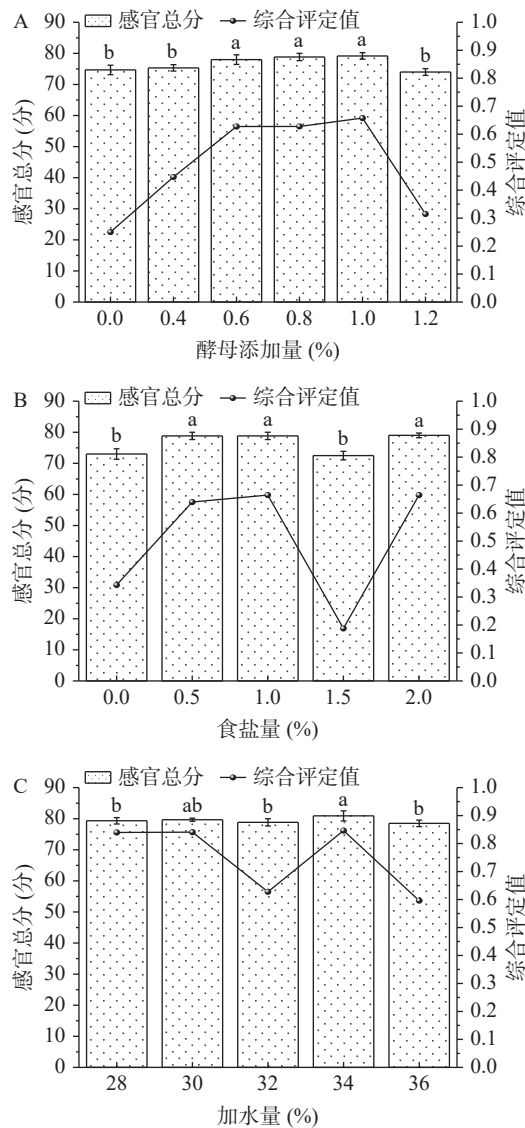


图 4 不同配方对发酵空心挂面感官得分和综合评定值的影响

Fig.4 Effect of different formula on sensory score and evaluating value of fermented hollow noodles

图 5 为利用回归模型得到的对综合评价影响显著的 AB、AC、BC 的响应面图和等高线图。分析图 5 可知,各因素交互作用为开口向下的曲面,响应曲面陡峭顺序为 BC>AC>AB,说明各因素间相互作用的影响大小为盐和水>酵母和水>酵母和盐。与表 7 的方差分析结果相一致。最终得到制作发酵空心挂面的最优配方:酵母添加量 0.83%、食盐添加量 0.64%、水添加量 33.67%。

2.4.2 模型的验证与结果分析 根据响应面的模型优化结果进行验证,综合评定值为最大值时,推荐的发酵空心挂面的最佳配方条件为:酵母添加量 0.83%,食盐的添加量为 0.64%,水的添加量为 33.67%,此时的综合评定值预测值为 0.93。验证试验,综合评定值为 0.909,与预测值接近,二者良好的拟合。

3 结论

本实验研究发现,酵母、食盐、水的添加量对发

表 6 响应面法设计与试验结果

Table 6 Design and experimental results of RSM

组别	变量(因素)			响应值				
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub> '	Y <sub>2</sub> '	Y <sub>3</sub> '	Y预测值	Y实际值
1	0	1	-1	3534.47	5.78	76.00	0.37	0.366
2	0	0	0	3340.89	5.6	79.67	0.77	0.710
3	0	-1	-1	3283.08	4.99	79.00	0.71	0.717
4	0	-1	1	2748.61	4.97	74.91	0.18	0.168
5	-0	0	1	3257.56	4.73	76.17	0.47	0.466
6	1	-1	0	3242.73	5.16	77.83	0.57	0.565
7	1	0	-1	3320.00	4.82	76.50	0.50	0.502
8	-1	1	0	3459.05	5.41	78.83	0.68	0.684
9	0	0	0	3415.09	5.48	79.67	0.75	0.746
10	1	0	1	3111.64	4.75	77.13	0.49	0.522
11	0	0	0	3242.73	5.42	80.33	0.78	0.778
12	0	1	1	3256.78	5.71	77.50	0.46	0.456
13	-1	-1	0	3034.96	4.41	80.91	0.93	0.930
14	0	0	0	3232.11	5.51	80.83	0.77	0.812
15	1	1	0	3218.52	5.46	79.33	0.67	0.566
16	0	0	0	3473.63	5.49	80.13	0.77	0.806
17	-1	0	-1	3539.50	4.86	79.17	0.82	0.818

表 7 模型回归系数显著性检验和方差分析

Table 7 Significance test and results for regression coefficients of the model

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	0.60	9	0.066	39.85	<0.0001	***
A-酵母量	0.052	1	0.052	31.07	0.0008	**
B-加盐量	0.0058	1	0.0058	3.51	0.1033	
C-加水量	0.078	1	0.077	46.07	0.0003	***
AB	0.03	1	0.003	18.10	0.0038	**
AC	0.035	1	0.035	20.80	0.0026	**
BC	0.1	1	0.1	59.84	0.0001	***
A <sup>2</sup>	0.0084	1	0.0084	5.02	0.06	
B <sup>2</sup>	0.045	1	0.045	27.22	0.0012	*
C <sup>2</sup>	0.24	1	0.24	143.31	<0.0001	***
残差	0.012	7	0.0017			
失拟项	0.0043	3	0.0014	0.79	0.5577	
纯误差	0.0073	4	0.0018			
总和	0.61	16				
R <sup>2</sup>				98.04%		
R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>				95.62%		

注: \*表示差异显著(P<0.05), \*\*表示差异非常显著(P<0.01), \*\*\*表示差异极显著(P<0.001)。

酵空心挂面蒸煮后的熟面条品质有着明显影响。采用响应面分析法优化了发酵空心挂面的制作配方,根据回归方程的分析和模型的验证,当在面粉中添加 0.83% 酵母、0.64% 食盐、33.67% 水时,制得的发酵空心挂面的综合评定值较高,表明此配下方发酵空心挂面的风味较好、口感爽滑、蒸煮和质地品质俱佳。此外,响应面分析结果表明(文中未显示)食盐添加量和加水量对发酵空心挂面的咀嚼性有极显著性影响(P<0.01);酵母添加量和加水量对感官总分有显著性影响(P<0.05);食盐添加量对面条的蒸煮损失率有极显著影响(P<0.01)。相较于普通挂面,发酵空心挂面的蒸煮品质有较显著差异,推测可能与挂面制作过程



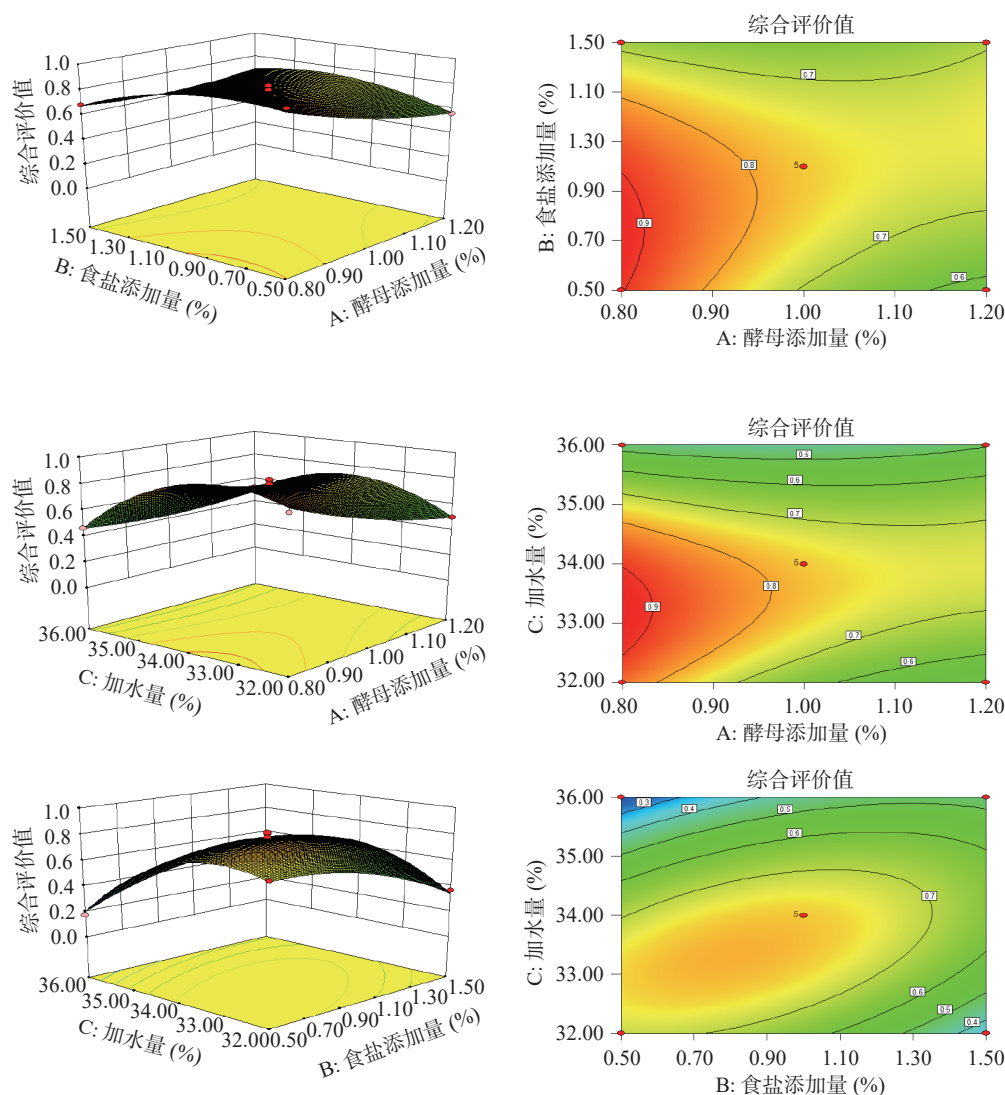


图5 各因素交互作用对发酵空心挂面综合评定值影响的响应面图

Fig.5 Response surface diagram of the interaction of various factors on the evaluating value of fermented hollow noodles

中酵母对可溶性糖的利用有关,需做进一步探究。此次试验范围内建立的模型准确可靠,有一定的参考应用价值,对实际的生产提供一定的指导意义。

#### 参考文献

- [1] 林娟. 空心面加工技术的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013. [LIN J. Studies on the process technology of kongxin noodle [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2013.]
- [2] WANG J R, GUO X N, XING J J, et al. Revealing the effect mechanism of NaCl on the rheological properties of dough of Chinese traditional hand-stretched dried noodles [J]. Food Chemistry, 2020, 320.
- [3] FOIS S, CAMPUS M, PIU P P, et al. Fresh pasta manufactured with fermented whole wheat semolina: Physicochemical, sensorial, and nutritional properties[J]. Foods, 2019, 8(9): 422.
- [4] MARCO M, ROSSANA C, GIUSEPPE R C. Recent advances in the use of sourdough biotechnology in pasta making[J]. Foods, 2019, 8(4): 129.
- [5] 于小磊. 发酵荞麦面条制备工艺研究[J]. 食品科技, 2011, 36(12): 144-146. [YUX L. Preparation of fermented buckwheat noodles[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(12): 144-

146.]

- [6] 大久長範, 鈴木直樹, 三浦みどり, et al. 手延べ乾麺の空隙形成に關与する耐塩性酵母[J]. 日本食品科学工学会誌, 2012, 59(9): 442-446. [NAGANORI O, NAOKI S, MIDORI M, et al. Halotolerant yeast participates in the cavity formation of hand-pulled dry noodle[J]. Journal of the Japanese Society of Food Science and Technology, 2012, 59(9): 442-446.]
- [7] XIONG X, LIU C, SONG M, et al. Effect of characteristics of different wheat flours on the quality of fermented hollow noodles [J]. Food Science & Nutrition, 2021.
- [8] 张蕴华, 汪磊, 陈洁, 等. 酵母种类对空心挂面品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 62-67. [ZHANG Y H, WANG L, CHEN J, et al. Effect of yeast species on quality of empty-inside noodle[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 62-67.]
- [9] WANG J R, GUO X N, YANG Z, et al. Effect of sodium bicarbonate on quality of machine-made Kongxin noodles[J]. LWT, 2021, 138: 110670.
- [10] 熊小青, 刘翀, 郑学玲. 发酵时间和酵母添加量对液态预发酵挂面品质的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(7): 167-173. [XIONG X Q, LIU C, ZHENG X L. Effect of fermentation time

- and amount of added yeast on the quality of dried liquid prefermented noodles[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(7): 167–173. ]
- [ 11 ] HUTTON T. Sodium technological functions of salt in the manufacturing of food and drink products[J]. *British Food Journal*, 2002, 104: 126–152.
- [ 12 ] YE Y, ZHANG Y, YAN J, et al. Effects of flour extraction rate, added water, and salt on color and texture of Chinese white noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2009, 86(4): 477–485.
- [ 13 ] 刘健飞, 郑学玲, 刘翀. 不同水分对复合压延面片力学性质及面条品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(17): 64–69. [ LIU J F, ZHENG X L, LIU C. Effects of different moisture content on the mechanical properties of compound sheeting dough sheet and the quality of cooked noodles[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(17): 64–69. ]
- [ 14 ] LIU C, JIANG X, WANG J, et al. Effect of heat - moisture treatment of germinated wheat on the quality of Chinese white salted noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2019, 96(1): 115–128.
- [ 15 ] HORMDOK R, NOOMHORM A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 40(10): 1723–1731.
- [ 16 ] FU B X. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing[J]. *Food Research International*, 2008, 41(9): 888–902.
- [ 17 ] 吴丹. 紫薯全粉面条生产工艺优化及品质形成机理研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017. [ WU D. Study on the processing production and mechanism of quality formation purple sweet potato noodles [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017. ]
- [ 18 ] 吴港城, 张慙, 王玉川, 等. 高品质面条工艺配方优化[J]. *食品与生物技术学报*, 2015, 34(2): 215–223. [ WU G C, ZHANG M, WANG Y C, et al. Formula optimization for producing high quality noodle [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2015, 34(2): 215–223. ]
- [ 19 ] YE X, SUI Z. Physicochemical properties and starch digestibility of Chinese noodles in relation to optimal cooking time[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 84: 428–433.
- [ 20 ] YEOH S Y, LUBOWA M, TAN T C, et al. The use of salt-coating to improve textural, mechanical, cooking and sensory properties of air-dried yellow alkaline noodles[J]. *Food Chemistry*, 2020, 333: 127425.
- [ 21 ] YI C, YANG Y, ZHOU S, et al. Role of lactic acid bacteria in the eating qualities of fermented rice noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2017, 94(2): 349–356.
- [ 22 ] TAN H Z, LI Z G, TAN B. Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving[J]. *Food Research International*, 2009, 42(5-6): 551–576.
- [ 23 ] TAN H L, TAN T C, EASA A M. Comparative study of cooking quality, microstructure, and textural and sensory properties between fresh wheat noodles prepared using sodium chloride and salt substitutes[J]. *LWT*, 2018, 97: 396–403.
- [ 24 ] 荆鹏, 郑学玲, 丁旋子, 等. 食盐对面絮及面条品质影响研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2014(9): 32–35. [ JING P, ZHENG X L, DING X Z, et al. Effect of salt on the quality of dough pieces and noodle[J]. *Food and Feed Industry*, 2014(9): 32–35. ]
- [ 25 ] ROMBOUTS I, JANSSENS K J, LAGRAIN B, et al. The impact of salt and alkali on gluten polymerization and quality of fresh wheat noodles[J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 60(3): 507–513.
- [ 26 ] ZHANG Y, LIU C, HONG J, et al. Effect of heat treatment and salt addition on the physicochemical properties and quality of fresh noodles[J]. *International Journal of Food Science Technology*, 2020, 55(7): 2783–2793.
- [ 27 ] 王晓曦, 邵青, 张振铎, 等. 小麦破损淀粉含量对制品蒸煮品质影响及其机理[J]. *粮食与油脂*, 2001(3): 10–12. [ WANG X X, SHAO Q, ZHANG Z D, et al. Effect of damaged wheat starch content on cooking quality and its mechanism[J]. *Cereals & Oils*, 2001(3): 10–12. ]
- [ 28 ] PLOYPETCHAR T, GOHTANI S. Effect of sugar on starch edible film properties: Plasticized effect[J]. *J Food Science and Technology*, 2018, 55(9): 3757–3766.
- [ 29 ] MAJZOBI M, LAYEGH B, FARAHNAKY A. Inclusion of oat flour in the formulation of regular salted dried noodles and its effects on dough and noodle properties[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2014, 38(1): 48–58.
- [ 30 ] 葛珍珍, 王维静, 高珊珊, 等. 微发酵对面条风味及其储藏过程中品质特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(13): 95–102. [ GE Z Z, WANG W J, GAO S S, et al. Effect of slight fermentation on the flavor and storage quality of noodles[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(13): 95–102. ]
- [ 31 ] PARK C S, BAIK B K. Flour characteristics related to optimum water absorption of noodle dough for making white salted noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2002, 79(6): 867–873.
- [ 32 ] LARROSA V, LORENZO G, ZARITZKY N, et al. Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta[J]. *LWT*, 2016, 70: 96–103.
- [ 33 ] 胡云峰, 王奎超, 陈媛媛. 不同加水量对生鲜面条品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(24): 88–92. [ HU Y F, WANG K C, CHEN Y Y. Effect of different water addition on quality of fresh noodles[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(24): 88–92. ]
- [ 34 ] TAN H L, TAN T C, EASA A M. Effects of sodium chloride or salt substitutes on rheological properties and water-holding capacity of flour and hardness of noodles[J]. *Food Structure*, 2020, 26: 100154.