

# 响应面法优化方便米粉干燥工艺研究

杨 希

(安徽粮食工程职业学院食品生物系, 合肥 230011)

**摘要:** 基于方便米粉实际生产中干燥工艺的重要性, 以湿米粉为研究对象, 采用单因素与响应面设计相结合的试验方法对方便米粉干燥工艺参数进行优化。结果表明: 方便米粉干燥温度、干燥风速、干燥时间对产品品质有不同程度的影响, 干燥工艺参数为干燥温度65℃, 干燥风速4 m/s, 干燥时间60 min, 在此参数下制得的方便米粉的感官分数为46.20, 表明根据Box-Behnken模型预测得到方便米粉的制作工艺准确可靠。该研究为方便米粉工业化生产提供参考依据。

**关键词:** 方便米粉; 干燥工艺; 质构特性; 响应面设计

**基金项目:** 安徽省高校思想政治工作创新项目(sztsjh-2020-5-35); 安徽省高等学校省级质量工程项目(2020szsflk0335; 2019xqsxzx90); 安徽粮食工程职业学院项目(Ahly2020005)

**收稿日期:** 2021-09-28

**文章编号:** 1674-7852(2022)03-0012-07

**作者简介:** 杨希, 副教授, 硕士, 研究方向: 食品加工。

## Optimization of Drying Process of Instant Rice Flour by Response Surface Design

YANG Xi

(Department of Food Biology, Anhui Vocational College of Grain Engineering, Hefei 230011)

**Abstract:** Based on the importance of drying process in the actual production of instant rice flour, taking wet rice flour as the research object, the drying process parameters of instant rice flour were optimized by the experimental method of single factor and response surface design. The results showed that the drying temperature, drying wind speed, and drying time of instant rice flour have different effects on the product quality. The drying process parameters were drying temperature 65℃, drying wind speed 4 m/s, and drying time 60 minutes. The sensory score of instant rice flour prepared under these parameters was 46.20, which showed that the prediction of the manufacturing process of instant rice flour obtained according to Box-Behnken model was accurate and reliable. This study provides a reference for the industrialized production of instant rice flour.

**Key words:** instant rice noodles; drying process; texture characteristics; response surface design

米粉是大米经过浸泡、粉碎或磨浆、混料、熟化、成型、老化、干燥等工序加工而成的条状稻米制品, 鲜米粉以其口感好而著称, 但不易保存且保质期内老化难以控制, 随着2020年新冠疫情爆发, 方便米粉产品表现出独特的优势<sup>[1]</sup>。米粉制备过程中, 干燥成为方便米粉加工过程的重要工序之一<sup>[2]</sup>。赵思明等<sup>[3-5]</sup>研究干燥过程对方便米粉品质的影响; 刘成梅等<sup>[6-7]</sup>研究干燥方法对方便米粉品质的影响; 谢岩黎等<sup>[8]</sup>研究干燥温度对米粉晶体特性和复水性的影响; 吕莹果等<sup>[9]</sup>采用模糊综合分析对米粉干燥品质的影响因素进行评价; 冯岳鸣等<sup>[10]</sup>研究米粉高湿热风干燥特性及动力学模型; 邓常继等<sup>[11]</sup>对3种常见市售湿米粉的微波干燥特性进行对比研究; 江思佳等<sup>[12]</sup>研究干燥工艺对米粉品质的影响; 杨艾迪等<sup>[13]</sup>研究热泵干燥过程中温度、载样量、风速等单因素对南方波纹米粉干燥效果的影响。从方便米粉生产实践角度, 在保证方便米粉品质的前提下提高干燥效率, 目前鲜有报道。本研究通过单因素与响应面设计优化方便米粉干燥工艺参数, 以期为方便米粉生产实践提供依据。

## 1 材料与方

**1.1 试验材料**

大米，绵阳仙特米业有限公司；玉米淀粉，西安国维淀粉实业责任有限公司；方便米粉生产线，广州市健力食品机械有限公司；Universal TA型质构仪，上海腾拔仪器科技有限公司；SFY-6型快速水分测定仪，上海浦予工业科技有限公司；CWJZ-30型除尘粉碎机，广州市旭朗机械设备有限公司。

**1.2 试验方法**

将大米粉碎后与玉米淀粉按4:1质量比混合后搅拌均匀，加水配料，在温度为140~160℃时进行一次挤压熟化，在温度为30~60℃时进行二次挤压成型，经输送带传输冷却至40℃以下，切分成40cm后老化，经水洗松丝、热风干燥、自动包装等工序生产方便米粉。

**1.3 方便米粉干燥工艺参数的单因素试验**

1.3.1 干燥温度对方便米粉品质的影响 米粉在温度为20~25℃、湿度为70%~75%的条件下老化8h，湿米粉初始水分含量为40%~45%，干燥风速4m/s，干燥时间60min，干燥温度为55、60、65、70、75℃进行单因素试验，测定米粉样品断条率、吐浆值、复水率。

1.3.2 干燥风速对方便米粉品质的影响 米粉在温度为20~25℃、湿度为70%~75%的条件下老化8h，湿米粉初始水分含量为40%~45%，干燥温度65℃，干燥时间60min，干燥风速为2、3、4、5、6m/s进行单因素试验，测定米粉样品断条率、吐浆值、复水率。

1.3.3 干燥时间对方便米粉品质的影响 米粉在温度为20~25℃、湿度为70%~75%的条件下老化8h，湿米粉初始水分含量为40%~45%，干燥温度65℃，干燥风速4m/s，干燥时间为40、50、60、70、80min进行单因素试验，测定米粉样品断条率、吐浆值、复水率。

1.3.4 响应面试验设计 在单因素试验的基础上，以A干燥温度(℃)、B干燥风速(m/s)、C干燥时间(h)为自变量，通过Box-Behnken设计3因素3水平响应面试验，以感官评分为响应值，考察各因素对响应值的影响程度，试验因素与水平如表1所示。

表1 方便米粉干燥工艺响应面试验设计的因素与水平

| 水平 | 因素     |            |          |
|----|--------|------------|----------|
|    | 干燥温度/℃ | 干燥风速/(m/s) | 干燥时间/min |
| -1 | 60     | 3          | 50       |
| 0  | 65     | 4          | 60       |
| 1  | 70     | 5          | 70       |

**1.4 项目测定**

1.4.1 方便米粉复水率测定 准确称取成品 $M_a$ 放入烧杯，加入5倍的沸水立即加盖，复水5min后立即沥干并用吸水纸吸干表面水分，称重 $M_b$ ，方便米粉复水率(%)= $M_b/M_a \times 100^{[4]}$ 。

1.4.2 方便米粉断条率测定 取20根长度为20cm的方便米粉，在500mL沸水中蒸煮1min，将米粉样品捞起过冷水滤干，记录10cm以上的米粉条数(X1)，断条率(%)= $\frac{20-X1}{20} \times 100$ 。

1.4.3 方便米粉吐浆值测定 测定米粉水分含量(W)，称取20g米粉样品( $M_0$ )，在500mL沸水中蒸煮2min，将汤汁定容至500mL，移取50mL至已恒重的器皿( $M_1$ )中，再将其放置在(105±2)℃条件下干燥至恒重( $M_2$ )，吐浆值(%)= $\frac{10 \times (M_2 - M_1)}{M_0 \times (1 - W)} \times 100^{[4]}$ 。

1.4.4 方便米粉的感官评价 参照杨健等<sup>[1]</sup>鲜湿米粉感官评分标准，结合方便米粉的特点进

表2 方便米粉感官评价标准

| 感官指标        | 标准          | 感官评分/分 |
|-------------|-------------|--------|
| 劲道<br>(10分) | 有嚼劲         | 8~10   |
|             | 稍有嚼劲        | 5~8    |
|             | 无嚼劲         | 0~5    |
| 质地<br>(10分) | 硬度适中，不粘牙    | 7~10   |
|             | 略硬或略软，基本不粘牙 | 5~7    |
|             | 很硬或很软，粘牙    | 0~5    |
| 风味<br>(10分) | 米香味浓郁       | 8~10   |
|             | 略有米香，无异味    | 5~8    |
|             | 无米香，略有异味    | 0~5    |
| 色泽<br>(10分) | 洁白透亮，有光泽    | 7~10   |
|             | 颜色正常，稍有光泽   | 5~7    |
|             | 颜色发黄，缺乏光泽   | 0~5    |
| 汤液<br>(10分) | 不浑汤，汤液透明    | 7~10   |
|             | 略浑汤，有淀粉融出   | 4~7    |
|             | 浑汤严重，看不清米粉  | 0~4    |

行修改, 制定方便米粉感官评价标准。方便米粉经沸水泡6~8 min后, 由12位具有品尝经验的专业人士对方便米粉进行感官评分。

1.4.5 方便米粉质构测定 采用TPA方法测定方便米粉质构<sup>[15]</sup>。称取方便米粉样品100 g放入盛有500 mL沸水(蒸馏水)的烧杯中, 加盖静置浸泡8 min, 立即捞出米粉, 沥干水分进行TPA(全质构)测定。测定参数为探头HDP/PFS, 测前、测试、测后速度分为2、1、1 mm/s, 感应力5 g, 压缩率70%, 时间1 s。测定方便米粉的硬度、弹性、回复性、咀嚼性、胶着性、粘性、黏聚性, 测定过程在10 min内完成, 每个样品重复测量6次。

### 1.5 数据分析

采用SPSS 19.0软件进行单因子方差分析(one way ANOVA)的组间差异性比较, 显著性水平为 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ , 采用皮尔森相关系数双尾检验法(two-tailed)表示。采用Design-expert 8.0.6软件进行响应面分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥温度对方便米粉品质的影响

干燥温度是方便米粉生产过程中的重要工序之一, 直接影响方便米粉的食用品质。干燥温度过高, 导致方便米粉表面的水分蒸发速度过快, 米粉表层形成一层硬壳, 阻碍方便米粉内部水分向外扩散, 造成米粉出现断条、龟裂等现象, 降低方便米粉的冲泡品质<sup>[16]</sup>。在干燥过程应控制好方便米粉的凝胶化程度, 保证米粉具有较好的复水性能<sup>[17]</sup>。

由表3可知, 复水率随着干燥温度升高呈升高的趋势; 当干燥温度过高时, 米粉水分散失较快, 淀粉分子来不及定向排列, 直接将淀粉分子混乱的无定型结构固定下来, 方便米粉容易复水。断条率和吐浆值随着干燥温度升高呈先降低后升高的趋势。在干燥温度为65 ℃时, 断条率和吐浆值最低, 但复水率较高。

由表4可知, 方便米粉的硬度、弹性、黏聚性、胶着性、咀嚼型及回复性随着干燥温度升高呈先升高后降低的趋势, 粘性变化呈先降低后升高的趋势, 在干燥温度为65 ℃时, 各指标出现拐点, 方便米粉冲泡品质达到最佳。

表3 不同干燥温度对方便米粉冲泡特性的影响

| 干燥温度/℃ | 复水率/%    | 断条率/%      | 吐浆值/%      |
|--------|----------|------------|------------|
| 55     | 234±3.1a | 4.32±0.06a | 4.21±0.07a |
| 60     | 242±4.2b | 4.23±0.08b | 4.10±0.11b |
| 65     | 259±2.2c | 3.93±0.06a | 3.85±0.08a |
| 70     | 261±3.7a | 4.18±0.09c | 3.90±0.09c |
| 75     | 264±3.1a | 4.30±0.08b | 4.20±0.10b |

注: 同列同指标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 相同表示差异不显著( $P>0.05$ )。表4~8同。

表4 不同干燥温度对方便米粉质构特性的影响

| 干燥温度/℃ | 硬度/gf           | 粘性/gf-mm      | 弹性         | 黏聚性/gf     | 胶着性/gf           | 咀嚼性/gf           | 回复性         |
|--------|-----------------|---------------|------------|------------|------------------|------------------|-------------|
| 55     | 3 654.59±20.17c | -10.011±0.54a | 0.83±0.06a | 0.76±0.03a | 3 715.192±26.37a | 2 844.527±47.90a | 0.612±0.35c |
| 60     | 3 699.64±10.19b | -10.423±0.44a | 0.89±0.03a | 0.77±0.04a | 3 741.13±25.37d  | 2 886.427±29.90b | 0.624±0.25a |
| 65     | 3 774.71±19.98b | -10.926±1.24b | 0.96±0.06a | 0.79±0.01a | 3 787.37±34.37b  | 2 984.546±42.53c | 0.639±0.12b |
| 70     | 3 738.81±25.24c | -9.964±1.24b  | 0.91±0.03a | 0.78±0.04a | 3 752.45±36.37c  | 2 904.552±52.56d | 0.629±0.25b |
| 75     | 3 690.16±25.24c | -9.764±1.64b  | 0.90±0.04a | 0.76±0.06a | 3 749.15±40.17c  | 2 084.542±46.56d | 0.626±0.15b |

### 2.2 不同干燥风速对方便米粉品质的影响

由表5可知, 复水率随着干燥风速增加呈先升高后降低的趋势。断条率和吐浆值随着干燥风速增加呈先降低后升高的趋势。在干燥风速为4 m/s时, 方便米粉的断条率和吐浆值最低, 方便米粉的冲泡品质最佳。

表5 不同干燥风速对方便米粉冲泡特性的影响

| 干燥风速/(m/s) | 复水率/%       | 断条率/%      | 吐浆值/%      |
|------------|-------------|------------|------------|
| 2          | 238.1±1.55a | 4.36±0.19a | 3.78±0.17a |
| 3          | 242.6±1.87b | 4.20±0.17b | 3.58±0.09b |
| 4          | 253.1±1.49a | 3.92±0.22c | 3.27±0.11c |
| 5          | 245.3±1.59a | 4.17±0.19a | 3.49±0.21d |
| 6          | 239.9±2.01c | 4.38±0.16b | 3.78±0.18a |

由表6可知，方便米粉的硬度、弹性、胶着性、咀嚼性随着干燥风速增加呈先升高后降低的趋势，粘性呈先降低后升高的趋势，回复性持续增加，黏聚性变化不明显。综合考虑，当干燥风速为4 m/s时，方便米粉的冲泡品质最佳。

表6 不同干燥风速对方便米粉质构特性的影响

| 干燥风速/(m/s) | 硬度/gf           | 粘性/gf-mm      | 弹性         | 黏聚性/gf     | 胶着性/gf          | 咀嚼性/gf           | 回复性         |
|------------|-----------------|---------------|------------|------------|-----------------|------------------|-------------|
| 2          | 3 708.12±21.34c | -10.103±0.47a | 0.88±0.07a | 0.79±0.00a | 3 810.28±28.67a | 2 904.128±23.40a | 0.619±0.23c |
| 3          | 3 788.02±23.65b | -10.453±0.97a | 0.93±0.03a | 0.77±0.04a | 3 860.14±34.85d | 2 945.021±28.40b | 0.632±0.14a |
| 4          | 3 871.34±33.54a | -10.886±1.02b | 0.97±0.07a | 0.79±0.06a | 3 942.07±38.04b | 2 987.347±31.06d | 0.646±0.08a |
| 5          | 3 823.65±26.49b | -10.987±1.28b | 0.98±0.04a | 0.78±0.03a | 3 976.45±23.06b | 2 938.219±21.48c | 0.652±0.15b |
| 6          | 3 776.17±38.04c | -10.786±1.65b | 0.96±0.02a | 0.75±0.08a | 3 938.45±26.49c | 2 897.387±28.53d | 0.658±0.13b |

2.3 不同干燥时间对方便米粉品质的影响

由表7可知，复水率随着干燥时间增加呈先升高后降低的趋势，变化趋势较平缓。断条率和吐浆值随着干燥时间增加呈先降低后升高的趋势，在干燥时间为60 min时，断条率和吐浆值出现转折点，方便米粉的断条率和吐浆值最低，但复水率最高，表明在干燥温度和干燥风速一定的情况下，干燥时间为60 min时，方便米粉的冲泡品质最佳。

表7 不同干燥时间对方便米粉冲泡特性的影响

| 干燥时间/min | 复水率/%       | 断条率/%      | 吐浆值/%      |
|----------|-------------|------------|------------|
| 40       | 238.8±1.45a | 4.28±0.28a | 3.58±0.18a |
| 50       | 244.7±1.87b | 4.13±0.17b | 3.36±0.16b |
| 60       | 253.1±1.43a | 3.92±0.23c | 3.19±0.20c |
| 70       | 246.8±1.53a | 4.44±0.22c | 3.44±0.22d |
| 80       | 240.6±2.01c | 4.72±0.11d | 3.67±0.16b |

由表8可知，方便米粉的硬度、胶着性随干燥时间增加呈逐渐升高的趋势，但差值较小，而方便米粉的弹性、黏聚性、咀嚼性、回复性随着干燥时间增加呈先升高后降低的趋势，粘性呈先降低后升高的趋势，各指标在干燥时间为60 min时出现转折点。表明在干燥时间为60 min时，方便米粉的冲泡品质最佳。

表8 不同干燥时间对方便米粉质构特性的影响

| 干燥时间/min | 硬度/gf           | 粘性/gf-mm      | 弹性         | 黏聚性/gf     | 胶着性/gf          | 咀嚼性/gf           | 回复性         |
|----------|-----------------|---------------|------------|------------|-----------------|------------------|-------------|
| 40       | 3 728.54±25.24c | -10.564±1.07a | 0.89±0.03a | 0.79±0.03a | 3 792.14±37.29a | 3 912.187±18.07a | 0.621±0.15c |
| 50       | 3 799.23±28.68b | -10.879±1.11a | 0.94±0.04a | 0.83±0.02a | 3 854.20±38.09d | 3 965.082±25.87b | 0.649±0.13a |
| 60       | 3 861.67±21.08a | -11.205±0.67b | 0.99±0.01a | 0.86±0.00a | 3 897.08±44.87b | 4 018.387±33.65d | 0.682±0.10a |
| 70       | 3 880.19±18.46b | -10.996±0.95b | 0.95±0.00a | 0.88±0.01a | 3 918.37±29.48b | 3 947.371±38.49c | 0.664±0.06b |
| 80       | 3 899.28±17.80c | -10.569±1.23b | 0.93±0.07a | 0.84±0.04a | 3 930.28±41.23c | 3 904.39±36.29d  | 0.643±0.04b |

2.4 方便米粉干燥工艺响应面优化试验

根据中心组合Box-Behnken试验设计原理，在单因素试验的基础上，选择单因素试验中对响应值有显著影响的因素，设计3因素3水平响应面优化试验，以干燥温度、干燥风速、干燥时间为自变量，以感官评分作为响应值，试验结果如表9所示。

表9 方便米粉干燥工艺优化响应面试验因素与水平

| 序号 | 因素       |        |            | 感官评分/分 |
|----|----------|--------|------------|--------|
|    | 干燥时间/min | 干燥温度/℃ | 干燥风速/(m/s) |        |
| 1  | 60       | 65     | 4          | 46.1   |
| 2  | 50       | 70     | 4          | 33.5   |
| 3  | 60       | 60     | 5          | 35.6   |
| 4  | 60       | 60     | 3          | 34.9   |
| 5  | 60       | 65     | 4          | 45.8   |
| 6  | 70       | 65     | 5          | 35.3   |
| 7  | 70       | 65     | 3          | 38.3   |
| 8  | 60       | 65     | 4          | 46.2   |

运用Design Expert 8.0.6软件对表9试验数据进行多元回归分析，得到方便米粉的干燥工艺响应变量 $X_1$ 干燥时间、 $X_2$ 干燥温度、 $X_3$ 干燥风速与 $Y$ 感官

得分之间的多元二次多项回归方程  
 $Y = -1081.12750 + 5.32575X_1 + 27.89450X_2 + 30.83000X_3 - 9.00000X_1X_2 - 7.50000X_1X_3 + 0.10500X_2X_3 - 0.04860X_1^2 - 0.22240X_2^2 - 4.68500X_3^2$ 。

由表10可知，根据F值和P值，干燥工艺参数对方便米粉感官评分的影响依次为  $X_2^2 > X_3^2 > X_1^2 > X_2 > X_2X_3 > X_3 > X_1 > X_1X_3 > X_1X_2$ ，其中  $X_2^2$ ， $X_3^2$ 影响极显著 ( $P < 0.01$ )， $X_1^2$ ， $X_2$ 影响显著 ( $P < 0.05$ )，其余因素影响不显著 ( $P > 0.05$ )。该回归模型  $P < 0.01$ ，表明该方程模型极显著；模型失拟项不显著 ( $P = 0.1726 > 0.05$ )，即该方程拟合较好，说明模型设计合理，可用于模拟分析和预测方便米粉干燥的最佳工艺参数。

表 9 方便米粉干燥工艺优化响应面因素与水平

| 序号 | 因素       |        |            | 感官评分/分 |
|----|----------|--------|------------|--------|
|    | 干燥时间/min | 干燥温度/℃ | 干燥风速/(m/s) |        |
| 9  | 50       | 65     | 5          | 34.6   |
| 10 | 70       | 70     | 4          | 35.5   |
| 11 | 60       | 65     | 4          | 45.6   |
| 12 | 60       | 70     | 3          | 34.7   |
| 13 | 50       | 60     | 4          | 36.4   |
| 14 | 50       | 65     | 3          | 37.3   |
| 15 | 60       | 70     | 5          | 37.5   |
| 16 | 60       | 65     | 4          | 45.9   |
| 17 | 70       | 60     | 4          | 36.6   |

表 10 方便米粉干燥工艺优化感官评分回归方程方差分析结果

| 因素       | 平方和    | 自由度 | 均方     | F值      | P值      | 显著性 |
|----------|--------|-----|--------|---------|---------|-----|
| 模型       | 250.70 | 9   | 27.86  | 24.120  | <0.0001 | **  |
| $X_1$    | 0.10   | 1   | 0.10   | 0.088   | 0.7758  |     |
| $X_2$    | 7.41   | 1   | 7.41   | 6.420   | 0.0391  | *   |
| $X_3$    | 1.62   | 1   | 1.62   | 1.400   | 0.2750  |     |
| $X_1X_2$ | 0.040  | 1   | 0.04   | 0.035   | 0.8577  |     |
| $X_1X_3$ | 0.063  | 1   | 0.06   | 0.054   | 0.8227  |     |
| $X_2X_3$ | 5.06   | 1   | 5.06   | 4.380   | 0.0746  |     |
| $X_1^2$  | 22.08  | 1   | 22.08  | 19.120  | 0.0033  | *   |
| $X_2^2$  | 146.07 | 1   | 146.07 | 126.460 | <0.0001 | **  |
| $X_3^2$  | 47.68  | 1   | 47.68  | 41.280  | 0.0004  | **  |
| 残差       | 8.09   | 7   | 1.16   |         |         |     |
| 失拟项      | 5.48   | 3   | 1.83   | 2.800   | 0.1726  |     |
| 纯误差      | 2.61   | 4   | 0.65   |         |         |     |
| 总和       | 258.78 | 16  |        |         |         |     |
| $R^2$    | 0.9922 |     |        |         |         |     |

注：\*\*表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )；\*表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.5 交互作用对感官评价的影响

用DesignExpert 8.0.6软件根据回归方程进行绘图分析(见图1~3)。等高线图为椭圆形，说明2个因素的交互作用明显；等高线图为圆形，说明2个因素的交互作用不明显。

当干燥风速为4 m/s时，随着干燥时间和干燥温度增加，方便米粉的感官评分呈先升高后降低的趋势，同时干燥温度对响应面坡度的改变大于干燥时间，说明影响方便米粉的感官评分为干燥温度>干燥时间。从图1等高线图可以看出，等高线形状是椭圆形，说明干燥时间和干燥温度交互作用明显。

当干燥温度为65 ℃时，随着干燥时间和干燥风速增加，方便米粉的感官评分呈先升高后降低的趋势，同时干燥时间对响应面坡度的改变大于干燥风速，说明影响方便米粉的感官评分为干燥时间>干燥风速。从图2等高线图可以看出，等高线形状是椭圆形，说明干燥时间和干燥风速交互作用明显。

当干燥时间为60 min时，随着干燥风速和干燥温度增加，方便米粉的感官评分呈先升高后降低的趋势，同时干燥温度对响应面坡度的改变大于干燥风速，说明影响方便米粉的感官评分为干燥温度>干燥风速。从图3等高线图可以看出，等高线形状是椭圆形，说明干燥风速和干燥温度交互作用明显。

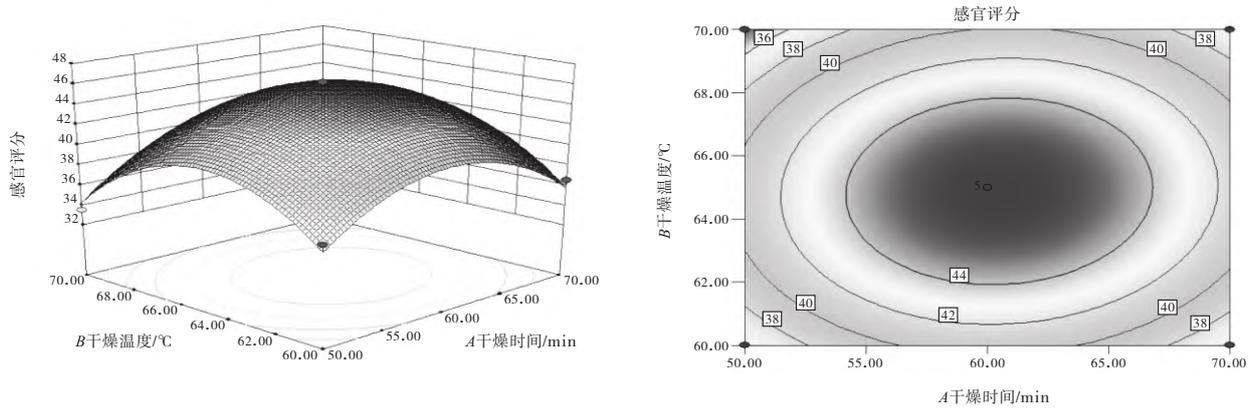


图1 干燥时间和干燥温度对方便米粉感官评分的响应面图与等高线图

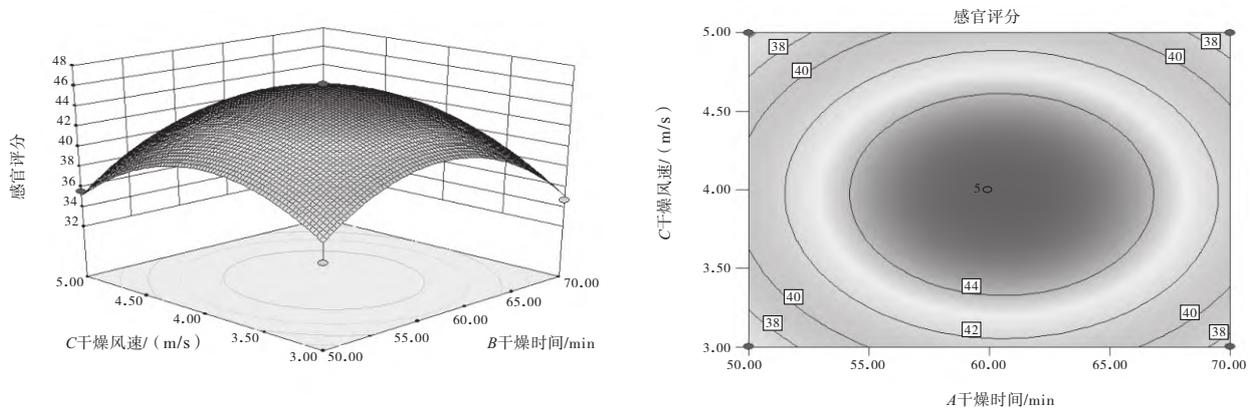


图2 干燥时间和干燥风速对方便米粉感官评分的响应面图与等高线图

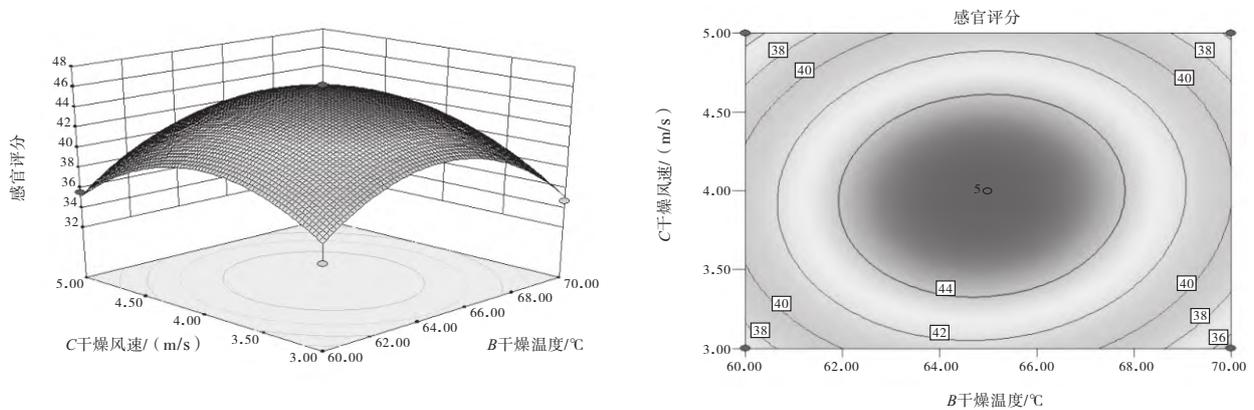


图3 干燥风速和干燥温度对方便米粉感官评分的响应面图与等高线图

### 2.6 最适方便米粉干燥工艺参数验证试验

根据Box-Behnken设计模型分析可知，方便米粉的最适干燥工艺参数为干燥时间60.49 min，干燥温度64.87 °C，干燥风速3.97 m/s，感官评分预测值为45.9399。为验证方案的有效性，在干燥时间为60 min，干燥温度为65 °C，干燥风速为4 m/s的条件下进行3次重复验证试验，感官评分为46.20。说明根据Box-Behnken模型得到的方便米粉干燥工艺参数预测准确可靠。

## 3 结 论

本研究对方便米粉的干燥工艺参数进行优化，在提高方便米粉干燥效率的前提下，使方便米粉品质得到有效提升，满足方便米粉工业化生产的需求。在单因素试验的基础上采用响应面进行优化，结果表明方便米粉干燥温度、干燥风速、干燥时间对产品品质有不同程度的影响。响应面试验优化干燥工艺参数为干燥温度65 °C，干燥风速4 m/s，干燥时间60 min，在此参数下制得的方便米粉的感官评

分为46.20,说明根据Box-Behnken模型预测得到的方便米粉的制作工艺准确可靠,对方便米粉生产具有实践指导意义。

### 参考文献:

- [1] 杨健,白菊红,张星灿,等.新型鲜湿方便米粉二级挤压工艺的研究[J].中国粮油学报,2020,35(4):134-141.
- [2] 卿明义.干型调制方便米粉生产工艺的研究[D].南宁:广西大学,2018.
- [3] 赵思明,刘友明,熊善柏,等.方便米粉高温高湿干燥过程水分的扩散特性[J].华中农业大学学报,2003,22(3):285-288.
- [4] 赵思明,谭汝成,刘友明,等.方便米粉高温高湿干燥数学模型研究[J].食品科学,2003,24(7):52-57.
- [5] 赵思明,刘友明,熊善柏,等.高温高湿干燥对方便米粉品质的影响[J].粮食与饲料工业,2003,2:11-12.
- [6] 刘成梅,艾亦旻,万婕,等.方便米粉微波干燥特性的研究[J].中国粮油学报,2014,29(10):1-5+22.
- [7] 刘成梅,左艳娜,万婕,等.干燥方法对方便米粉老化特性的影响[J].中国粮油学报,2014,29(5):1-4+35.
- [8] 谢岩黎,颜明霞,郝振宇,等.干燥温度对马铃薯淀粉粉丝晶体特性和复水性的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(1):55-59.
- [9] 吕莹果,高静丹,陈洁,等.米粉干燥工艺的研究[J].粮食与饲料工业,2012(6):25-27.
- [10] 冯岳鸣,俞志勇,潘巨忠,等.米粉高湿热风干燥特性及动力学模型[J].山东化工,2019(48):143-144.
- [11] 邓常继,关则慧,王亚军,等.米粉微波干燥特性研究[J].粮食科技与经济,2017,42(2):74-76.
- [12] 江思佳,刘启觉.米粉微波-热风联合干燥工艺研究[J].粮食工程·技术,2009(4):102-105.
- [13] 杨艾迪,张雁,魏振承,等.南方波纹米粉的热泵干燥工艺优化[J].食品科技,2017,42(5):165-171.
- [14] 元伟华.多谷物营养方便面加工技术研究[D].长春:吉林农业大学,2017.
- [15] Charutigon C.,Jitpuakdree J.,Namsree P,et al.Effects of processing conditions and the use of modified starch and monoglyceride on some properties of extruded rice vermicelli[J].LWT-Food Science and Technology,2008,41(4):642-651.
- [16] 江思佳,刘启觉.米粉微波-热风联合干燥工艺研究[J].粮油加工,2009(4):102-105.
- [17] 杨艾迪,唐小俊,魏振承,等.米粉丝干燥技术研究现状与展望[J].广东农业科学,2015(18):82-87.

[责任编辑:吴迪]

## 本刊投稿方式

本刊全面采用由中国知网提供的网络采编系统,作者投稿请注册并登陆本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址:<http://tegb.cbpt.cnki.net/EditorDN/quit.aspx>。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据库(<http://www.wanfangdata.com.cn/index.html>)、维普网(<http://www.cqvip.com>)下载使用。

本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话0432—63509995联系。