

# 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条 制备工艺的优化

李洁<sup>1,2</sup>, 刘玫<sup>1,2\*</sup>, 李波轮<sup>1,2</sup>, 孙乐<sup>1,2</sup>, 党文谦<sup>1,2</sup>, 马豪<sup>1,2</sup>, 郑学玲<sup>1,2\*</sup>, 李利民<sup>1,2</sup>, 刘翀<sup>1,2</sup>, 梁赢<sup>3</sup>

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南工业大学 国家工程实验室/省重点实验室, 河南 郑州 450001; 3. 河南工业大学 生物工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 为满足高血糖人群对方便、健康和高营养主食的需求, 该文以 40% 鹰嘴豆粉与 60% 小麦粉复配制备冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条。选取与杂粮面条品质密切相关的 3 个因素: 鹰嘴豆粉粒度、加水量、和面温度建立正交试验, 以冻融循环 10 次后面条的蒸煮损失率、质构特性、拉伸特性、色度和感官评分为指标, 优化制备品质优良冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的制备工艺。结果表明, 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条制备的最佳工艺条件为粒度 100 目~120 目、加水量 32 g、和面温度 40 ℃。该条件下, 冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条的蒸煮、质构特性俱佳, 具有良好的色泽和口感。

**关键词:** 鹰嘴豆; 冷冻熟制杂粮面条; 工艺优化; 正交试验; 质构特性

## Optimization of the Preparation Process of Frozen Cooked Multigrain Noodles with High Content of Chickpea

LI Jie<sup>1,2</sup>, LIU Mei<sup>1,2\*</sup>, LI Bo-lun<sup>1,2</sup>, SUN Le<sup>1,2</sup>, DANG Wen-qian<sup>1,2</sup>, MA Hao<sup>1,2</sup>,  
ZHENG Xue-ling<sup>1,2\*</sup>, LI Li-min<sup>1,2</sup>, LIU Chong<sup>1,2</sup>, LIANG Ying<sup>3</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, Henan, China; 2. National Engineering Laboratory/Key Laboratory of Henan Province, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, Henan, China; 3. College of Biological Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, Henan, China)

**Abstract:** Frozen cooked multigrain noodles with high content of chickpea were prepared to meet the demand of the hyperglycemic population for convenient, healthy, and nutritious staple food. The noodles were prepared with 40% chickpea flour and 60% wheat flour. The orthogonal test was designed with three factors: chickpea flour particle size, water addition, and kneading temperature, which were associated with the noodle quality. The cooking loss, texture characteristics, tensile characteristics, color, and sensory score of the noodles after 10 freeze-thaw cycles were used as indicators to optimize the preparation process. The results showed that the optimal conditions for the preparation of frozen cooked multigrain noodles with high content of chickpea were chickpea flour particle size of 100 meshes-120 meshes, water addition of 32 g and kneading at 40 ℃. The noodles prepared under these conditions had excellent cooking and texture properties and good color and taste.

**Key words:** chickpea; frozen cooked multigrain noodles; process optimization; orthogonal test; texture properties

引文格式:

李洁, 刘玫, 李波轮, 等. 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条制备工艺的优化[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5): 119-126.

LI Jie, LIU Mei, LI Bolun, et al. Optimization of the Preparation Process of Frozen Cooked Multigrain Noodles with High Content of Chickpea[J]. Food Research and Development, 2023, 44(5): 119-126.

基金项目: 河南工业大学粮油食品学科国家工程实验室/省重点实验室开放课题(NL2021005); 国家小麦产业技术体系(CARS-03); 河南省小麦产业技术体系(S2021-G06); 河南工业大学高层次人才科研启动基金项目(2020BS048); 河南工业大学自科创新基金一般项目(2020ZKCJ12)

作者简介: 李洁(1998—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 淀粉加工理论与技术。

\* 通信作者: 刘玫(1988—), 女(汉), 讲师, 研究方向: 淀粉加工理论与技术; 郑学玲(1972—), 女(汉), 教授, 研究方向: 淀粉加工理论与技术。

冷冻熟面是将新鲜面条煮制后经快速冻结和冻藏,通过低温贮藏有效保持面条的口感、质地和营养价值,后经短暂复热便可食用的新型面制品。因其具有存储时间长、制备方便等优点,近年来受到广泛重视并得到快速发展<sup>[1-2]</sup>,其满足了当下消费者对方便性食品的需求。目前主要研究以精制小麦粉为主要原料的冷冻熟面,其种类单一且淀粉含量高,缺乏必需的矿物质和膳食纤维成分。此外,冷冻熟面经过冻藏期间冰晶的破坏及后续复煮过程中淀粉的再糊化,导致其消化程度明显高于鲜湿面,容易造成血糖较大的波动。因此,为了解决营养失衡的问题,可以通过添加适当杂粮来提高面条的营养性和抗消化性,开发出新型冷冻熟制杂粮面条。

鹰嘴豆属于豆科植物,其籽粒富含蛋白质、碳水化合物、膳食纤维、不饱和脂质、矿物质和具有抗氧化活性的生物活性物质,有助于控制胆固醇水平和维持血糖平衡,预防心血管疾病和Ⅱ型糖尿病的发生<sup>[3]</sup>。除此之外,鹰嘴豆中具有较高含量的抗性淀粉,占比可达其淀粉总含量的35%<sup>[4]</sup>,而小麦中抗性淀粉仅占9.2%。研究显示,以抗性淀粉和膳食纤维为主要原料制作食物可以明显降低食物的消化速度和餐后血糖指数,还可以增强饱腹感<sup>[5]</sup>。由于鹰嘴豆具有良好的营养和健康特性,很多研究已尝试将其应用于面包、饼干和面条中<sup>[6-7]</sup>,但目前关于鹰嘴豆面条的研究中,鹰嘴豆粉的添加量较低,难以消除以谷物为基础饮食中的营养不足<sup>[8]</sup>。

因鹰嘴豆的蛋白质组成中缺乏形成面筋网络所必需的麦谷蛋白和醇溶蛋白<sup>[9]</sup>,因此过量添加鹰嘴豆粉会导致面筋网络结构受损,面条品质劣变。目前针对杂粮面条品质的改善主要集中于杂粮粉粒度、加水量、外源添加剂、和面方式和温度等<sup>[9-10]</sup>。杂粮粉粒度主要通过影响其吸水率、破损淀粉含量以及感官品质,改变面团的吸水性和流变学特性,进而影响面条的色泽、弹性和表面光滑度<sup>[11]</sup>。面团中的水分含量和状态也是影响面条制备过程和最终产品质量的重要因素,水分过多会使面团过于黏稠,面条的抗拉伸能力降低,不适合后续加工;水分过少会导致面筋网络结构形成不完全,难以包裹全部淀粉颗粒,煮制过程中的蒸煮损失增大<sup>[12]</sup>。和面温度主要通过影响淀粉颗粒和蛋白质分子与水分子的结合程度进而影响面条的品质,水温升高促进面筋网络的形成,面条的弹性增强,但当水温过高时,蛋白质发生变性,面筋网络逐渐凝固、硬化,与淀粉的相互作用减弱,面条品质下降<sup>[13]</sup>。

因此,本文选用鹰嘴豆粉作为添加对象,将鹰嘴豆粉与小麦粉以质量比4:6进行复配,以粒度、加水量与和面温度3个因素建立正交试验,通过蒸煮损失率、质构特性、拉伸特性、色度和感官评分评价冻融循

环10次后的面条品质,以期获得色泽、口感兼顾的高品质冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条,进一步拓宽鹰嘴豆在冷冻熟制面制品加工行业中的应用。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

鹰嘴豆:乌鲁木齐新边界贸易有限公司;小麦粉:河北金沙河面业集团有限责任公司;食用盐:市售。

JHMZ-200型和面机、JMTD-168/140试验面条机:北京东孚久恒仪器技术有限公司;JHY-H80L低温试验箱:郑州格美制冷设备有限公司;TX.XT plus物性分析仪:英国Stable Microsystem公司;SMY-2000色彩色差仪:北京盛明扬科技发展有限公司;FR-1210精密烘箱:上海发瑞仪器科技有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的制备

参照Liang等<sup>[2]</sup>的方法,称取总质量为100g的混合粉(干基),其中鹰嘴豆粉(鹰嘴豆经粉碎后过40、60、80、100、120目筛得到鹰嘴豆粉样品)和小麦粉的质量比为4:6(鹰嘴豆粉和小麦粉的含水量分别为9.05%和14.30%),食盐添加量为混合粉质量(干基)的1%。

#### 1.2.2 冻融循环处理

将冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条样品在-18℃冰箱中冻藏22h,然后置于25℃保持2h,以此为1个循环,依次累加并记录数据。

#### 1.2.3 正交试验

为了优化冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的制作工艺,分别选取粒度、加水量与和面温度3个因素作为考察因素,设计 $L_{25}(5^3)$ 正交试验,具体方案如表1所示。以冻融循环10次后面条的质构特性、拉伸特性、蒸煮损失率、色度和感官评分作为试验评价指标。

表1 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条正交因素水平

Table 1 Levels and orthogonal factors for frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 水平 | 因素      |         |          |
|----|---------|---------|----------|
|    | A 粒度/目  | B 加水量/g | C 和面温度/℃ |
| 1  | 40~60   | 28      | 20       |
| 2  | 60~80   | 30      | 30       |
| 3  | 80~100  | 32      | 40       |
| 4  | 100~120 | 34      | 50       |
| 5  | 120~140 | 36      | 60       |

#### 1.2.4 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条蒸煮损失率的测定

称取一定质量样品( $W_0$ ),精确至0.01g。按照1.2.1的方法制作冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条,收集面条复煮过程中的面汤,冷却至25℃后转入500mL容量瓶中定容,用移液管取50mL面汤移入干燥铝盒( $W_1$ )

中,放入 105 ℃烘箱中烘至恒重( $W_2$ ),按照公式(1)计算蒸煮损失率。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{10 \times (W_2 - W_1)}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: $W_0$ 为生面条的质量,g; $W_1$ 为恒重铝盒的质量,g; $W_2$ 为恒重的含有干物质的铝盒质量,g。

1.2.5 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条质构特性的测定

参照 Liang 等<sup>[2]</sup>的方法,使用 HDP/PFS 探头在压缩模式下进行质构特性测定。

1.2.6 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条拉伸特性的测定

参照 Liang 等<sup>[2]</sup>的方法,使用 A/SPR 探头在拉伸模式下进行拉伸测试。

1.2.7 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条色度的测定

参照 Hong 等<sup>[14]</sup>的方法,将冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条冻干后磨粉,并通过 80 目筛网。通过测定 $\Delta L^*$ (亮度)、 $\Delta a^*$ (红-绿)、 $\Delta b^*$ (黄-蓝),按照公式(2)计算面条的色度( $\Delta E$ )。

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

式中: $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 为面条样品与标准值( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )之间的差值,其中 $L^*=100$ 、 $a^*=0$ 、 $b^*=0$ 。

1.2.8 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条感官评价

感官评价由 10 名经过食品感官评价培训和经验丰富的评价员组成,要求从色泽、表观状态、硬度、黏度、爽滑度和风味 6 个方面对样品进行评分,具体评分标准如表 2 所示。

表 2 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard of frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 项目   | 满分 | 评分标准           | 得分    |
|------|----|----------------|-------|
| 色泽   | 10 | 面皮颜色淡黄,光亮      | 9~10  |
|      |    | 面皮颜色正常,亮度一般    | 6~8   |
|      |    | 颜色发暗、不均匀,亮度差   | 1~5   |
| 表观状态 | 10 | 表面结构均匀,光滑      | 9~10  |
|      |    | 表面结构均匀但有破损,较光滑 | 6~8   |
|      |    | 表面粗糙、变形严重,不光滑  | 1~5   |
| 硬度   | 20 | 咬断力适中          | 17~20 |
|      |    | 稍微偏硬或偏软        | 12~16 |
|      |    | 太硬或太软          | 1~11  |
| 黏度   | 30 | 不黏牙、有嚼劲、富有弹性   | 25~30 |
|      |    | 微黏牙、弹性略低       | 18~24 |
|      |    | 黏牙、咬劲差         | 1~17  |
| 爽滑度  | 20 | 口感爽滑           | 17~20 |
|      |    | 较爽滑            | 12~16 |
|      |    | 爽滑性差           | 1~11  |
| 风味   | 10 | 具有豆香味,无异味      | 9~10  |
|      |    | 基本无异味          | 5~8   |
|      |    | 有异味            | 1~4   |

1.3 数据处理

运用 Excel 软件进行数据分析处理,所有样品均设置 3 个重复试验,最终结果以平均值±标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 基于正交法分析冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条蒸煮损失率

蒸煮损失率反映面汤中干物质的总含量,与煮制时面条中的直链淀粉和可溶性蛋白融入到水中而使面汤变得浑浊而黏稠有关<sup>[14]</sup>。冻融循环过程中冰晶的生长和重结晶会对面筋网络结构造成机械损伤,导致蛋白质解聚,小分子蛋白增多<sup>[15]</sup>,并且冻融循环过程加快了淀粉的老化速度,导致在复煮过程中面条表面溶出物增多,复煮蒸煮损失率增大。因此,为了降低蒸煮损失率,对冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的制备工艺进行优化。冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的蒸煮损失率结果见表 3。

表 3 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的蒸煮损失率结果

Table 3 Results of cooking loss of frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号            | 因素    |      |      | 蒸煮损失率/%   |
|----------------|-------|------|------|-----------|
|                | A     | B    | C    |           |
| 1              | 1     | 1    | 1    | /         |
| 2              | 1     | 2    | 2    | 2.69±0.04 |
| 3              | 1     | 3    | 3    | 2.45±0.16 |
| 4              | 1     | 4    | 4    | 2.40±0.11 |
| 5              | 1     | 5    | 5    | 2.58±0.14 |
| 6              | 2     | 1    | 2    | 2.55±0.07 |
| 7              | 2     | 2    | 3    | 1.29±0.11 |
| 8              | 2     | 3    | 4    | 1.81±0.08 |
| 9              | 2     | 4    | 5    | 2.23±0.17 |
| 10             | 2     | 5    | 1    | 2.51±0.14 |
| 11             | 3     | 1    | 3    | 1.45±0.08 |
| 12             | 3     | 2    | 4    | 2.06±0.10 |
| 13             | 3     | 3    | 5    | 1.61±0.08 |
| 14             | 3     | 4    | 1    | 2.51±0.17 |
| 15             | 3     | 5    | 2    | 1.55±0.13 |
| 16             | 4     | 1    | 4    | 2.56±0.18 |
| 17             | 4     | 2    | 5    | 2.61±0.09 |
| 18             | 4     | 3    | 1    | 1.33±0.08 |
| 19             | 4     | 4    | 2    | 1.40±0.11 |
| 20             | 4     | 5    | 3    | 1.11±0.07 |
| 21             | 5     | 1    | 5    | 2.21±0.16 |
| 22             | 5     | 2    | 1    | 2.37±0.14 |
| 23             | 5     | 3    | 2    | 1.47±0.07 |
| 24             | 5     | 4    | 3    | 2.16±0.13 |
| 25             | 5     | 5    | 4    | 2.69±0.15 |
| K <sub>1</sub> | 10.12 | 8.77 | 8.72 |           |

续表3 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的蒸煮损失率结果

Continue table 3 Results of cooking loss of frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号            | 因素             |                |                | 蒸煮损失率/% |
|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|
|                | A              | B              | C              |         |
| K <sub>2</sub> | 10.39          | 11.02          | 9.66           |         |
| K <sub>3</sub> | 9.18           | 8.67           | 8.46           |         |
| K <sub>4</sub> | 9.01           | 10.70          | 11.52          |         |
| K <sub>5</sub> | 10.90          | 10.44          | 11.24          |         |
| k <sub>1</sub> | 2.02           | 1.75           | 1.74           |         |
| k <sub>2</sub> | 2.08           | 2.20           | 1.93           |         |
| k <sub>3</sub> | 1.84           | 1.73           | 1.69           |         |
| k <sub>4</sub> | 1.80           | 2.14           | 2.30           |         |
| k <sub>5</sub> | 2.18           | 2.09           | 2.25           |         |
| R              | 0.38           | 0.47           | 0.61           |         |
| 主次顺序           | C>B>A          |                |                |         |
| 最优水平           | A <sub>4</sub> | B <sub>3</sub> | C <sub>3</sub> |         |

注:/表示无法制作出该条件下的冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条或者冻融10次后面条状态无法测定该指标。

由表3可知,影响冻融10次后冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条蒸煮损失率的因素顺序为C>B>A,即和面温度>加水量>粒度。制备冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条的最优工艺为A<sub>4</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>,即粒度100目~120目、加水量32 g、和面温度40℃。

## 2.2 基于正交法分析冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条质构特性

质构特性是决定面条食用品质的主要质地属性,也是影响消费者对产品接受度的关键因素。其中硬度被认为是表征质构特性的主要指标,其与面条内部的面筋网络结构密切相关<sup>[16]</sup>。在冻融循环过程中,冷冻熟面中冰晶的形成和再结晶均会使面筋网络结构和淀粉颗粒遭到严重破坏,而破损的淀粉颗粒更易吸水膨胀,加剧对面筋网络结构的挤压,使其变得疏松、不连贯,冷冻熟面的硬度随之下降<sup>[2]</sup>。因此,为改善冻藏过程中冷冻熟面的面筋网络结构,即获得较高硬度的冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条,对其制备工艺进行优化。冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的质构特性结果见表4。

表4 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的质构特性结果

Table 4 Results of texture properties of frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号 | 因素 |   |   | 硬度/g           |
|-----|----|---|---|----------------|
|     | A  | B | C |                |
| 1   | 1  | 1 | 1 | /              |
| 2   | 1  | 2 | 2 | /              |
| 3   | 1  | 3 | 3 | 1 892.31±22.14 |
| 4   | 1  | 4 | 4 | 1 887.59±11.98 |

续表4 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的质构特性结果

Continue table 4 Results of texture properties of frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号            | 因素             |                |                | 硬度/g           |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                | A              | B              | C              |                |
| 5              | 1              | 5              | 5              | 1 688.72±32.91 |
| 6              | 2              | 1              | 2              | /              |
| 7              | 2              | 2              | 3              | 2 903.98±29.65 |
| 8              | 2              | 3              | 4              | 2685.32±23.83  |
| 9              | 2              | 4              | 5              | 1793.44±22.08  |
| 10             | 2              | 5              | 1              | 1 785.19±18.42 |
| 11             | 3              | 1              | 3              | 4 703.42±21.69 |
| 12             | 3              | 2              | 4              | 4 581.75±35.25 |
| 13             | 3              | 3              | 5              | 4 682.75±28.08 |
| 14             | 3              | 4              | 1              | 4 999.45±20.07 |
| 15             | 3              | 5              | 2              | 4 503.38±37.96 |
| 16             | 4              | 1              | 4              | 4 942.07±35.41 |
| 17             | 4              | 2              | 5              | 4 859.82±22.52 |
| 18             | 4              | 3              | 1              | 4 562.64±32.48 |
| 19             | 4              | 4              | 2              | 5 682.97±31.61 |
| 20             | 4              | 5              | 3              | 5 302.30±40.06 |
| 21             | 5              | 1              | 5              | 5 377.39±27.75 |
| 22             | 5              | 2              | 1              | 6 130.66±43.38 |
| 23             | 5              | 3              | 2              | 4 674.71±35.44 |
| 24             | 5              | 4              | 3              | 4 447.75±24.16 |
| 25             | 5              | 5              | 4              | 4 964.78±38.51 |
| K <sub>1</sub> | 5 468.62       | 15 022.88      | 17 477.94      |                |
| K <sub>2</sub> | 9 167.93       | 18 476.21      | 14 861.06      |                |
| K <sub>3</sub> | 23 470.75      | 18 497.73      | 19 249.76      |                |
| K <sub>4</sub> | 25 349.80      | 18 811.20      | 19 061.51      |                |
| K <sub>5</sub> | 25 595.29      | 18 244.37      | 18 402.12      |                |
| k <sub>1</sub> | 1 093.72       | 3 004.58       | 3 495.59       |                |
| k <sub>2</sub> | 1 833.59       | 3 695.24       | 2 972.21       |                |
| k <sub>3</sub> | 4 694.15       | 3 699.55       | 3 849.95       |                |
| k <sub>4</sub> | 5 069.96       | 3 762.24       | 3 812.30       |                |
| k <sub>5</sub> | 5 119.06       | 3 648.87       | 3 680.42       |                |
| R              | 4 025.34       | 757.66         | 877.74         |                |
| 主次顺序           | A>C>B          |                |                |                |
| 最优水平           | A <sub>5</sub> | B <sub>4</sub> | C <sub>3</sub> |                |

注:/表示无法制作出该条件下的冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条或者冻融10次后面条状态无法测定该指标。

由表4可知,影响冻融10次后冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条硬度的因素顺序为A>C>B,即粒度>和面温度>加水量。制备冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条的最优工艺为A<sub>5</sub>B<sub>4</sub>C<sub>3</sub>,即粒度120目~140目、加水量34 g、和面温度40℃。

## 2.3 基于正交法分析冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条拉伸断裂强度

拉伸断裂强度可以反映面条的抗拉伸能力和筋力强度,与冷冻熟面中面筋蛋白网络结构的强弱有关<sup>[17]</sup>。通常认为面条的拉伸断裂强度越大,面条的筋道感越

好,相应的面条品质越好。冷冻熟面在冻藏过程中由于温度的波动会经历反复的冻融循环,导致面筋网络结构遭受破坏,拉伸断裂强度不断下降<sup>[2]</sup>。因此,为获得拉伸断裂强度较大的冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条,对其制备工艺进行优化。冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的拉伸断裂强度结果见表 5。

表 5 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的拉伸断裂强度结果  
Table 5 Results of maximum tensile strength of frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号            | 因素             |                |                | 拉伸断裂强度/g   |
|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
|                | A              | B              | C              |            |
| 1              | 1              | 1              | 1              | /          |
| 2              | 1              | 2              | 2              | /          |
| 3              | 1              | 3              | 3              | 8.47±0.78  |
| 4              | 1              | 4              | 4              | 10.20±0.31 |
| 5              | 1              | 5              | 5              | 7.33±0.75  |
| 6              | 2              | 1              | 2              | /          |
| 7              | 2              | 2              | 3              | 10.30±0.47 |
| 8              | 2              | 3              | 4              | 11.36±0.61 |
| 9              | 2              | 4              | 5              | 9.49±0.86  |
| 10             | 2              | 5              | 1              | /          |
| 11             | 3              | 1              | 3              | 23.34±0.86 |
| 12             | 3              | 2              | 4              | 24.34±0.91 |
| 13             | 3              | 3              | 5              | 22.29±1.06 |
| 14             | 3              | 4              | 1              | 21.84±1.47 |
| 15             | 3              | 5              | 2              | 19.58±1.53 |
| 16             | 4              | 1              | 4              | 31.84±2.74 |
| 17             | 4              | 2              | 5              | 31.08±1.87 |
| 18             | 4              | 3              | 1              | 32.26±2.42 |
| 19             | 4              | 4              | 2              | 32.20±1.53 |
| 20             | 4              | 5              | 3              | 25.17±1.14 |
| 21             | 5              | 1              | 5              | 22.61±1.96 |
| 22             | 5              | 2              | 1              | 19.45±1.10 |
| 23             | 5              | 3              | 2              | 22.13±1.61 |
| 24             | 5              | 4              | 3              | 25.30±1.45 |
| 25             | 5              | 5              | 4              | 20.04±1.14 |
| K <sub>1</sub> | 26.00          | 62.79          | 74.55          |            |
| K <sub>2</sub> | 34.15          | 76.17          | 73.91          |            |
| K <sub>3</sub> | 111.39         | 94.51          | 89.58          |            |
| K <sub>4</sub> | 133.55         | 105.03         | 89.78          |            |
| K <sub>5</sub> | 105.53         | 72.12          | 82.80          |            |
| k <sub>1</sub> | 5.20           | 12.56          | 14.91          |            |
| k <sub>2</sub> | 6.83           | 15.36          | 14.78          |            |
| k <sub>3</sub> | 22.28          | 18.90          | 17.92          |            |
| k <sub>4</sub> | 26.71          | 21.01          | 17.96          |            |
| k <sub>5</sub> | 21.11          | 14.42          | 16.56          |            |
| R              | 21.51          | 8.45           | 3.18           |            |
| 主次顺序           | A>B>C          |                |                |            |
| 最优水平           | A <sub>4</sub> | B <sub>4</sub> | C <sub>4</sub> |            |

注:/表示无法制作出该条件下的冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条或者冻融 10 次后面条状态无法测定该指标。

由表 5 可知,影响冻融 10 次后冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条拉伸断裂强度的因素顺序为 A>B>C,即粒度>加水量>和面温度。粒度的大小与面筋网络的水结合能力密切相关,从而影响面条的拉伸断裂强度。较大的颗粒的在和面过程中与水的接触面积较小,吸收的水分难以形成均匀的面筋网络结构,面条易断裂<sup>[18]</sup>。制备冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条的最优工艺为 A<sub>4</sub>B<sub>4</sub>C<sub>4</sub>,即粒度 100 目~120 目、加水量 34 g、和面温度 50 ℃。

2.4 基于正交法分析冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条拉伸断裂距离

拉伸断裂距离主要反映面条是否容易断裂,与冷冻熟面中的面筋蛋白网络结构的强度呈正相关<sup>[17]</sup>,与拉伸断裂强度结合共同反映面条的拉伸性能,两者的变化趋势一致。拉伸断裂距离越大表明面条强度和筋力越好。冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的拉伸断裂距离结果见表 6。

表 6 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的拉伸断裂距离结果  
Table 6 Results of tensile fracture distance of frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号            | 因素     |       |       | 拉伸断裂距离/mm  |
|----------------|--------|-------|-------|------------|
|                | A      | B     | C     |            |
| 1              | 1      | 1     | 1     | /          |
| 2              | 1      | 2     | 2     | /          |
| 3              | 1      | 3     | 3     | 5.64±0.31  |
| 4              | 1      | 4     | 4     | 8.17±0.54  |
| 5              | 1      | 5     | 5     | 5.22±0.25  |
| 6              | 2      | 1     | 2     | /          |
| 7              | 2      | 2     | 3     | 8.34±0.18  |
| 8              | 2      | 3     | 4     | 5.82±0.43  |
| 9              | 2      | 4     | 5     | 5.10±0.32  |
| 10             | 2      | 5     | 1     | /          |
| 11             | 3      | 1     | 3     | 15.52±0.41 |
| 12             | 3      | 2     | 4     | 18.92±1.32 |
| 13             | 3      | 3     | 5     | 17.09±0.81 |
| 14             | 3      | 4     | 1     | 19.75±1.21 |
| 15             | 3      | 5     | 2     | 18.76±0.93 |
| 16             | 4      | 1     | 4     | 22.81±1.07 |
| 17             | 4      | 2     | 5     | 27.07±1.14 |
| 18             | 4      | 3     | 1     | 36.29±1.59 |
| 19             | 4      | 4     | 2     | 28.92±1.37 |
| 20             | 4      | 5     | 3     | 26.02±0.43 |
| 21             | 5      | 1     | 5     | 11.81±0.29 |
| 22             | 5      | 2     | 1     | 14.58±0.32 |
| 23             | 5      | 3     | 2     | 15.19±0.58 |
| 24             | 5      | 4     | 3     | 16.41±0.79 |
| 25             | 5      | 5     | 4     | 19.55±1.48 |
| K <sub>1</sub> | 19.03  | 50.14 | 70.62 |            |
| K <sub>2</sub> | 19.26  | 68.91 | 62.87 |            |
| K <sub>3</sub> | 90.04  | 80.03 | 71.93 |            |
| K <sub>4</sub> | 141.11 | 78.35 | 75.27 |            |

续表6 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的拉伸断裂距离结果  
Continue table 6 Results of tensile fracture distance of frozen  
cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号            | 因素             |                |                | 拉伸断裂距离/<br>mm |
|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
|                | A              | B              | C              |               |
| K <sub>5</sub> | 77.54          | 69.55          | 66.29          |               |
| k <sub>1</sub> | 3.81           | 10.03          | 14.12          |               |
| k <sub>2</sub> | 3.85           | 13.78          | 12.57          |               |
| k <sub>3</sub> | 18.01          | 16.01          | 14.39          |               |
| k <sub>4</sub> | 28.22          | 15.67          | 15.05          |               |
| k <sub>5</sub> | 15.51          | 13.91          | 13.26          |               |
| R              | 24.41          | 5.98           | 2.48           |               |
| 主次顺序           | A>B>C          |                |                |               |
| 最优水平           | A <sub>4</sub> | B <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> |               |

注:/表示无法制作出该条件下的冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条或者冻融10次后面条状态无法测定该指标。

由表6可知,影响冻融10次后冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条拉伸断裂距离的主次因素为A>B>C,即粒度>加水量>和面温度。制备冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条的最优工艺为A<sub>4</sub>B<sub>3</sub>C<sub>4</sub>,即粒度100目~120目,加水量32 g,和面温度50℃。

## 2.5 基于正交法分析冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条色度

面条的颜色是评价面条品质的一个重要质量参数,对感官品质起着重要的作用,明亮和白色因其具有畅销性通常被认为是积极的属性<sup>[14]</sup>。Hong等<sup>[14]</sup>发现随着冻藏时间延长,面筋网络坍塌程度进一步加深,水分流失造成的冷冻熟面表面结构疏松,使得冷冻熟面表面的光线反射增加,导致颜色变亮。一般认为 $\Delta E$ 越小,面团的颜色越好<sup>[19]</sup>,对于经历冻融循环后的冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条, $\Delta E$ 越小表明其与标准色差的差异越小,面条的颜色更加明亮,更符合目前市场的消费趋向。表7为冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的色度结果。

表7 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的色度结果

Table 7 Results of color properties of frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号 | 因素 |   |   | $\Delta E$ |
|-----|----|---|---|------------|
|     | A  | B | C |            |
| 1   | 1  | 1 | 1 | /          |
| 2   | 1  | 2 | 2 | 12.09±0.59 |
| 3   | 1  | 3 | 3 | 12.39±0.87 |
| 4   | 1  | 4 | 4 | 12.14±0.31 |
| 5   | 1  | 5 | 5 | 11.11±0.36 |
| 6   | 2  | 1 | 2 | 10.14±0.49 |
| 7   | 2  | 2 | 3 | 10.32±0.45 |
| 8   | 2  | 3 | 4 | 12.75±0.85 |
| 9   | 2  | 4 | 5 | 11.35±0.94 |

续表7 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的色度结果  
Continue table 7 Results of color properties of frozen cooked  
high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号            | 因素             |                |                | $\Delta E$ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
|                | A              | B              | C              |            |
| 10             | 2              | 5              | 1              | 11.32±0.21 |
| 11             | 3              | 1              | 3              | 9.89±0.16  |
| 12             | 3              | 2              | 4              | 10.06±0.27 |
| 13             | 3              | 3              | 5              | 9.87±0.19  |
| 14             | 3              | 4              | 1              | 9.30±0.35  |
| 15             | 3              | 5              | 2              | 7.76±0.26  |
| 16             | 4              | 1              | 4              | 7.45±0.17  |
| 17             | 4              | 2              | 5              | 7.97±0.42  |
| 18             | 4              | 3              | 1              | 7.27±0.17  |
| 19             | 4              | 4              | 2              | 7.70±0.26  |
| 20             | 4              | 5              | 3              | 6.10±0.34  |
| 21             | 5              | 1              | 5              | 9.74±0.18  |
| 22             | 5              | 2              | 1              | 10.12±0.49 |
| 23             | 5              | 3              | 2              | 8.07±0.67  |
| 24             | 5              | 4              | 3              | 7.87±0.14  |
| 25             | 5              | 5              | 4              | 6.33±0.13  |
| K <sub>1</sub> | 47.73          | 37.22          | 38.01          |            |
| K <sub>2</sub> | 55.88          | 50.56          | 45.76          |            |
| K <sub>3</sub> | 46.88          | 50.35          | 46.57          |            |
| K <sub>4</sub> | 36.49          | 48.36          | 48.73          |            |
| K <sub>5</sub> | 42.13          | 42.62          | 50.04          |            |
| k <sub>1</sub> | 9.55           | 7.44           | 7.60           |            |
| k <sub>2</sub> | 11.18          | 10.11          | 9.15           |            |
| k <sub>3</sub> | 9.38           | 10.07          | 9.31           |            |
| k <sub>4</sub> | 7.30           | 9.67           | 9.75           |            |
| k <sub>5</sub> | 8.43           | 8.52           | 10.01          |            |
| R              | 4.63           | 1.59           | 0.86           |            |
| 主次顺序           | A>B>C          |                |                |            |
| 最优水平           | A <sub>4</sub> | B <sub>1</sub> | C <sub>1</sub> |            |

注:/表示无法制作出该条件下的冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条或者冻融10次后面条状态无法测定该指标。

由表7可知,影响冻融10次后冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条色度的因素顺序为A>B>C,即粒度>加水量>和面温度。粒度对杂粮面条的影响主要归因于不同粒度的鹰嘴豆粉表面积不同,通常认为粒度越小,颗粒的表面积越大,引起面条对光的反射强度增大,色泽更加明亮。制备冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条的最优工艺为A<sub>4</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>,即粒度100目~120目、加水量28 g、和面温度20℃。

## 2.6 基于正交法分析冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条感官评价

感官评价是食品质量评价的另一种重要方法,可以直接反映出消费者对产品的喜爱度和接受度<sup>[17]</sup>。不同工艺对冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条的影响主要从色泽、表观状态、硬度、黏度、爽滑度和风味6个方面进行

感官评价,能够直接反映冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的品质。表 8 为冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的感官评价结果。

表 8 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的感官评价结果  
Table 8 Results of sensory evaluation of frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 试验号            | 因素             |                |                | 感官评分       |
|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
|                | A              | B              | C              |            |
| 1              | 1              | 1              | 1              | /          |
| 2              | 1              | 2              | 2              | 33.63±2.44 |
| 3              | 1              | 3              | 3              | 37.38±1.75 |
| 4              | 1              | 4              | 4              | 32.00±1.86 |
| 5              | 1              | 5              | 5              | 36.00±2.09 |
| 6              | 2              | 1              | 2              | 39.71±3.42 |
| 7              | 2              | 2              | 3              | 52.88±2.53 |
| 8              | 2              | 3              | 4              | 42.13±2.96 |
| 9              | 2              | 4              | 5              | 46.13±3.66 |
| 10             | 2              | 5              | 1              | 42.25±1.43 |
| 11             | 3              | 1              | 3              | 63.38±3.11 |
| 12             | 3              | 2              | 4              | 63.88±4.13 |
| 13             | 3              | 3              | 5              | 64.75±2.19 |
| 14             | 3              | 4              | 1              | 63.75±3.18 |
| 15             | 3              | 5              | 2              | 63.63±4.12 |
| 16             | 4              | 1              | 4              | 67.88±3.11 |
| 17             | 4              | 2              | 5              | 72.25±4.26 |
| 18             | 4              | 3              | 1              | 68.13±4.53 |
| 19             | 4              | 4              | 2              | 71.13±3.54 |
| 20             | 4              | 5              | 3              | 66.38±2.65 |
| 21             | 5              | 1              | 5              | 67.38±4.81 |
| 22             | 5              | 2              | 1              | 67.63±3.42 |
| 23             | 5              | 3              | 2              | 66.88±5.37 |
| 24             | 5              | 4              | 3              | 68.50±4.26 |
| 25             | 5              | 5              | 4              | 70.50±2.71 |
| K <sub>1</sub> | 139.01         | 238.35         | 241.76         |            |
| K <sub>2</sub> | 223.10         | 290.27         | 274.98         |            |
| K <sub>3</sub> | 319.39         | 279.27         | 288.52         |            |
| K <sub>4</sub> | 345.77         | 281.51         | 276.39         |            |
| K <sub>5</sub> | 340.89         | 278.76         | 286.51         |            |
| k <sub>1</sub> | 27.80          | 47.67          | 48.35          |            |
| k <sub>2</sub> | 44.62          | 58.05          | 55.00          |            |
| k <sub>3</sub> | 63.88          | 55.85          | 57.70          |            |
| k <sub>4</sub> | 69.15          | 56.30          | 55.28          |            |
| k <sub>5</sub> | 68.18          | 55.75          | 57.30          |            |
| R              | 41.35          | 10.38          | 9.35           |            |
| 主次顺序           | A>B>C          |                |                |            |
| 最优水平           | A <sub>4</sub> | B <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> |            |

注:/表示无法制作出该条件下的冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条或者冻融 10 次后面条状态无法测定该指标。

由表 8 可知,影响冻融 10 次后冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条感官评价的因素顺序为 A>B>C,即粒度>加水量>和面温度,说明粒度对冷冻熟制杂粮面条

的感官评价影响最大,加水量次之,和面温度最小。这可能是因为粒度较大的鹰嘴豆粉与小麦粉复配制备出的面条其颗粒感、粗糙感更明显,而粒度较小的鹰嘴豆粉与小麦粉复配制备出的面条内部构造更为细腻致密均匀,食用口感较好<sup>[20]</sup>。制备冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条的最优工艺为 A<sub>4</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>,即粒度 100 目~120 目、加水量 30 g、和面温度 40 ℃。

2.7 正交试验综合结果与分析

表 9 为冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条正交试验综合结果。

表 9 冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条正交试验综合结果  
Table 9 Comprehensive results of orthogonal experiments on frozen cooked high-content chickpea multigrain noodles

| 项目     | 主次顺序  | 最优水平                                         |
|--------|-------|----------------------------------------------|
| 蒸煮损失率  | C>B>A | A <sub>4</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> |
| 硬度     | A>C>B | A <sub>3</sub> B <sub>4</sub> C <sub>3</sub> |
| 拉伸断裂强度 | A>B>C | A <sub>4</sub> B <sub>4</sub> C <sub>4</sub> |
| 拉伸断裂距离 | A>B>C | A <sub>4</sub> B <sub>3</sub> C <sub>4</sub> |
| ΔE     | A>B>C | A <sub>4</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> |
| 感官评分   | A>B>C | A <sub>4</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub> |

由表 9 可知,在本研究的多指标正交试验中,最优试验方案之间存在一定的矛盾,需兼顾 6 项指标进行综合比较<sup>[21]</sup>。因此,以出现频次为依据,寻求尽可能优化每个指标的试验方案<sup>[22]</sup>。将影响冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条 6 个指标的主次顺序认定为 A>B>C,即粒度>加水量>和面温度。以 6 个评价指标得出的最优水平中不同工艺的出现频次,可得出制备冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的适宜水平为 A<sub>4</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub> 或 A<sub>4</sub>B<sub>4</sub>C<sub>3</sub>,但当加水量较多时,面条的制备过程容易出现黏辊现象,综合考虑面条制备时的表观形态等因素,最终选取制备工艺条件为 A<sub>4</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>,即粒度 100 目~120 目、加水量 32 g、和面温度 40 ℃。

3 结论

本文通过选取鹰嘴豆粉粒度、加水量和和面温度 3 个因素进行 L<sub>25</sub>(5<sup>3</sup>)正交试验,并对冻融 10 次后的冷冻熟制鹰嘴豆杂粮面条的蒸煮损失率、质构特性、拉伸断裂强度、拉伸断裂距离、色度和感官评价进行分析,最终确定制备冷冻熟制高含量鹰嘴豆杂粮面条的最佳工艺为鹰嘴豆粉粒度 100 目~120 目、加水量 32 g、和面温度为 40 ℃。

参考文献:

[1] OLIVERA D F, SALVADORI V O. Effect of freezing rate in textural and rheological characteristics of frozen cooked organic pasta[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(2): 271-276.  
[2] LIANG Y, QU Z T, LIU M, et al. Effect of curdlan on the quality of

- frozen-cooked noodles during frozen storage[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 95: 103019.
- [3] 李伟, 姚树奇. 鹰嘴豆抗性淀粉提取工艺及其降血脂效应研究[J]. 现代食品, 2018(7): 188-192.
- LI Wei, YAO Shuqi. Extraction process of chickpea resistant starch and its effect on reducing blood lipids[J]. Modern Food, 2018(7): 188-192.
- [4] JUKANTI A K, GAUR P M, GOWDA C L, et al. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review[J]. The British Journal of Nutrition, 2012, 108(Suppl 1): S11-S26.
- [5] 徐箐, 柳嘉, 林静, 等. 低GI淀粉原料的筛选及理化特性和体外消化特性的研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(20): 8-14.
- XU Qing, LIU Jia, LIN Jing, et al. Screening of low glycemic index starch and study on physico-chemical and *in vitro* digestive properties[J]. Food Research and Development, 2020, 41(20): 8-14.
- [6] AGUILAR N, ALBANELL E, MIÑARRO B, et al. Chickpea and tiger nut flours as alternatives to emulsifier and shortening in gluten-free bread[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 225-232.
- [7] KAUR R, PRASAD K. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*)-A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109: 448-463.
- [8] 张桦, 钟金锋, 雷凡, 等. 鹰嘴豆粉对面团流变学特性及面条品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(1): 171-176.
- ZHANG Ju, ZHONG Jinfeng, LEI Fan, et al. Effects of chickpea flour on rheological properties of dough and the quality of composite noodles[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(1): 171-176.
- [9] 赵安娜, 焦婷婷, 时文芳. 杂粮刀削面工艺配方的优化[J]. 粮食加工, 2020, 45(4): 24-28.
- ZHAO Anna, JIAO Tingting, SHI Wenfang. The optimization of the recipe of cutting grain flour[J]. Grain Processing, 2020, 45(4): 24-28.
- [10] 彭湃, 王柯, 王晓龙, 等. 燕麦、荞麦面条品质提升研究进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 153-160.
- PENG Pai, WANG Ke, WANG Xiaolong, et al. Research progress on quality improvement of oat and buckwheat noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(4): 153-160.
- [11] 陈玉娟, 丁美彤, 方晓晓, 等. 粒度对小麦粉品质及其面制品质量的影响研究[J]. 现代面粉工业, 2020, 34(6): 24-27.
- CHEN Yujuan, DING Meitong, FANG Xiaoxiao, et al. Effect of particle size on the quality of wheat flour and its products[J]. Modern Flour Milling Industry, 2020, 34(6): 24-27.
- [12] 刘明, 田晓红, 汪丽萍, 等. 加水量对豌豆挂面品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(4): 7-12.
- LIU Ming, TIAN Xiaohong, WANG Liping, et al. Effects of water addition on pea dried noodle quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2015, 23(4): 7-12.
- [13] 拱姗姗, 刘长虹, 徐一哲, 等. 温度对调制面团性能影响研究[J]. 食品科技, 2016, 41(7): 170-173.
- GONG Shanshan, LIU Changhong, XU Yizhe, et al. Effect of temperature on the modulation dough properties[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(7): 170-173.
- [14] HONG T T, MA Y, YUAN Y R, et al. Understanding the influence of pullulan on the quality changes, water mobility, structural properties and thermal properties of frozen cooked noodles[J]. Food Chemistry, 2021, 365: 130512.
- [15] PETITOT M, BOYER L, MINIER C, et al. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 634-641.
- [16] LIU Q, GUO X N, ZHU K X. Effects of frozen storage on the quality characteristics of frozen cooked noodles[J]. Food Chemistry, 2019, 283: 522-529.
- [17] 刘倩. 冷冻熟面在冻藏过程中品质变化规律及调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
- LIU Qian. Study on quality change and regulation of frozen cooked noodles during storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [18] 王崇崇. 粒度对小麦粉及面条品质特性的影响机理研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
- WANG Chongchong. The effect of particle size on the quality characteristics of wheat flour and noodles[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.
- [19] ZHANG Y 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.
- [20] 陈成, 温纪平, 王晓曦, 等. 不同面粉粗细度对馒头品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(10): 39-43.
- CHEN Cheng, WEN Jiping, WANG Xiaoxi, et al. Effect of different flour particle sizes on the quality of steamed bread[J]. Cereals & Oils, 2015, 28(10): 39-43.
- [21] 刘方, 翁庙成. 实验设计与数据处理[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2021.
- LIU Fang, WENG Miao Cheng. Experimental design and data processing[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2021.
- [22] 刘俊娥, 傅昊, 郭章林. 综合频率分析法在多指标正交试验设计中的应用[J]. 价值工程, 2016, 35(24): 124-126.
- LIU June, FU Hao, GUO Zhanglin. Comprehensive frequency analytic approach and its application on the multi-target orthogonal test design[J]. Value Engineering, 2016, 35(24): 124-126.

加工编辑:张昱  
收稿日期:2022-09-01