

# 藜麦魔芋挂面的研制及品质评价

马程程<sup>1,2</sup> 柴春祥<sup>1,2</sup> 杜利农<sup>3</sup> 王源韬<sup>1,2</sup>

(1. 天津商业大学生物技术与食品科学学院,天津 300134; 2. 天津市食品生物技术重点实验室,天津 300134;  
3. 天津商业大学信息工程学院,天津 300134)

**摘要:**[目的]研制出一种营养丰富,风味独特的藜麦魔芋挂面,改善传统小麦挂面的品质;探讨藜麦魔芋挂面的品质评价方法,弥补当前挂面品质评价方法的不足。**[方法]**对不同藜麦粉添加量、水添加量、魔芋精粉添加量和熟化时间的藜麦魔芋挂面的蒸煮品质、质构特性和感官特性进行测定,藜麦魔芋挂面品质评价采用多个藜麦魔芋挂面品质指标结合模糊数学的模糊综合评价法,在单因素试验基础上,用响应面试验优化了藜麦魔芋挂面最佳配方。**[结果]**藜麦魔芋挂面最佳配方为藜麦粉添加量 22.40%,水添加量 48.40%,魔芋精粉添加量 1.80%,熟化时间 19 min。此条件下,藜麦魔芋挂面的蒸煮损失率为  $(8.27 \pm 0.04)\%$ ,硬度为  $(49.52 \pm 0.06)$  N,胶黏性为  $3116.61 \pm 7.27$ ,咀嚼度为  $3066.16 \pm 5.41$ ,感官评分为  $87.1 \pm 0.2$ ,综合评分为  $61.45 \pm 0.13$ 。**[结论]**制备的藜麦魔芋挂面口感顺滑,富有弹性,硬度适中,呈明显藜麦黄色,具有特殊的藜麦风味。模糊综合评价法可以更准确地评价藜麦魔芋挂面的品质。

**关键词:**藜麦;魔芋;复合挂面;模糊综合评价;品质评价

## Development and quality evaluation of quinoa-konjac dried noodles

MA Chengcheng<sup>1,2</sup> CHAI Chunxiang<sup>1,2</sup> DU Linong<sup>3</sup> WANG Yuantao<sup>1,2</sup>

(1. School of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;  
2. Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, Tianjin 300134, China;  
3. College of Information Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

**Abstract:** [Objective] To develop nutrient-rich quinoa-konjac dried noodles with distinctive flavor characteristics for enhancing the quality of wheat-based dried noodles and investigate quality evaluation methodologies for quinoa-konjac dried noodles, aiming to address the limitations in current evaluation systems for dried noodle products. [Methods] The cooking quality, textural properties, and sensory characteristics of quinoa-konjac dried noodles prepared under different conditions of quinoa flour addition, water addition, konjac flour addition, and curing time are systematically analyzed. The quality of quinoa-konjac dried noodles is evaluated through a fuzzy comprehensive evaluation method that systematically integrates multidimensional quality indices with fuzzy mathematical principles. Building upon single-factor experiments, the response surface methodology is adopted to optimize the formula. [Results] The optimal formula is as follows: quinoa flour addition of 22.40%, water addition of 48.40%, konjac flour addition of 1.80%, and curing time of 19 min. The quinoa-konjac dried noodles prepared under these conditions have a cooking loss rate of  $(8.27 \pm 0.04)\%$ , firmness of  $(49.52 \pm 0.06)$  N, adhesiveness of  $3116.61 \pm 7.27$ , chewiness of  $3066.16 \pm 5.41$ , a sensory score of  $87.1 \pm 0.2$  points, and a comprehensive score of  $61.45 \pm 0.13$  points. [Conclusion] The quinoa-konjac dried noodles prepared with the optimized formula exhibit a smooth texture, high elasticity, appropriate firmness, a distinctive golden-yellow color, and a characteristic quinoa aroma. The fuzzy comprehensive evaluation method proves effective for precise quality assessment of quinoa-konjac dried noodles.

**Keywords:** quinoa; konjac; fried noodles; fuzzy comprehensive evaluation; quality evaluation

基金项目:“十四五”国家重点研发计划项目(编号:2023YFD1600705)

通信作者:柴春祥(1971—),男,天津商业大学教授,博士。E-mail: ccxiang@tjcu.edu.cn

收稿日期:2025-01-23 改回日期:2025-08-20

引用格式:马程程,柴春祥,杜利农,等.藜麦魔芋挂面的研制及品质评价[J].食品与机械,2026,42(1):176-184.

Citation:MA Chengcheng, CHAI Chunxiang, DU Linong, et al. Development and quality evaluation of quinoa-konjac dried noodles[J]. Food & Machinery, 2026, 42(1): 176-184.

目前消费市场上的挂面,主要以传统小麦挂面为主,其原料单一,营养匮乏,品质不佳<sup>[1-2]</sup>。在挂面中添加其它食品原料可以改善挂面的营养和品质<sup>[3]</sup>,但大多是以添加单一食品原料为主,融合多种食品原料营养特性、风味特性和功能特性,发挥食品原料间互补作用的研究相对较少。藜麦富含蛋白质、氨基酸、碳水化合物、脂质和膳食纤维等营养物质<sup>[4-5]</sup>。但藜麦很少被用于挂面加工,因为其几乎不含面筋蛋白,不能形成稳定的面筋网络结构。魔芋富含膳食纤维(魔芋葡甘聚糖),可以用于加工魔芋精粉<sup>[6-8]</sup>。魔芋精粉具有低脂肪、低热量、黏度高、吸水性强等优点<sup>[8]</sup>,可以用于改善面筋网络的稳定性,改善挂面品质<sup>[9-10]</sup>。将藜麦粉和魔芋精粉共同用于挂面加工,发挥二者在挂面加工中的互补作用,可以提高挂面的营养和品质。

挂面品质受多个品质指标的影响,包括挂面的质构特性、蒸煮特性、感官评价等,这些品质指标都与挂面的品质密切相关,现有研究<sup>[11-13]</sup>多采用单一感官评价对挂面进行品质评价。感官评价虽能反映消费者主观偏好,但易受个体差异、环境因素等干扰,重复性较差;单一指标无法量化多维度品质特征的协同与拮抗效应。这导致传统方法在综合评价精度和结果稳定性方面存在明显短板。为了更准确地反映挂面的品质特性,得出更为可靠的结论,亟须建立多指标协同分析的科学评价体系。近年研究表明,模糊综合评价法可以模拟人类判断逻辑,将模糊信息数值化<sup>[14-16]</sup>,在食品品质评价中展现出了独特优势<sup>[17]</sup>。相较于传统感官评价,在挂面品质评价中模糊综合评价能够构建包含质构、蒸煮、感官的全维度指标体系;能够通过隶属度函数量化指标间的模糊关系;能够基于权重分配降低主观判断偏差,更准确客观。

研究拟结合藜麦和魔芋的营养特性、风味特性和功能特性,发挥二者间的互补作用来改善传统小麦挂面的不足,研制出一种品质优于传统小麦挂面,营养丰富,风味独特的高质量挂面,同时综合各品质指标计算综合评分对挂面品质进行评价,以期为挂面的品类研发和品质评价提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

小麦粉:蛋白质9.6%,脂肪1.6%,碳水化合物73.0%,五得利面粉集团有限公司;

藜麦粉:蛋白质12.1%,脂肪5.4%,碳水化合物69.4%,甘肃祁连农庄有机农业发展有限公司;

魔芋精粉:膳食纤维91.0%,河南万邦实业有限公司。

### 1.2 仪器与设备

标准振动筛:HYS-300型,北京环亚天元机械技术有限公司;

电子天平:FA2004A型,上海精天电子仪器有限公司;

电动压面机:FKM150-2型,浙江省永康市富康电器有限公司;

电热鼓风干燥箱:101FA-3型,上海申光仪器仪表有限公司;

多功能电磁炉:C21-RT2148型,美的集团股份有限公司;

质构仪:TA.XT plus型,英国Stable Micro System公司。

### 1.3 藜麦魔芋挂面的制作

#### 1.3.1 藜麦魔芋挂面工艺流程

配料(面粉、藜麦粉、魔芋精粉、水)→和面→熟化→压延→切条→干燥→成品

#### 1.3.2 藜麦魔芋挂面制作要点

(1) 配料:将小麦粉、藜麦粉过80目筛,按照藜麦粉添加量称取面粉和藜麦粉混合粉共100 g;以混合粉质量为基准,再称取对应比例的魔芋精粉、水,并提前将魔芋精粉溶化在水中。

(2) 和面:将面粉、藜麦粉和魔芋精粉溶液按照比例混匀,25℃和面10 min。和面过程中应注意和面力度保持均匀适中,和面至面团表面光滑,不粘手为最佳。

(3) 醒发:将和好的面团用保鲜膜包裹,在25℃下,按照设定时间进行醒发。

(4) 压延:将面团放入面条机,档位由1档到8档压片8次,压延好的面片厚度为1 mm。

(5) 切条:将面片放入面条机切条,得到宽3 mm,厚1 mm的面条。

(6) 干燥:将切条后的面条摆好挂起,利用鼓风干燥箱,在45℃下干燥5 h。

(7) 成品:将干燥完的挂面,按照20 cm长的规格切断,得到挂面成品。

### 1.4 试验方法

参考葛珍珍等<sup>[10]</sup>和蔡梦迪等<sup>[18]</sup>的方法,结合前期预试验,得到影响藜麦魔芋挂面品质最关键的因素为藜麦粉添加量、水添加量、魔芋精粉添加量和熟化时间。通过单因素试验和响应面试验优化藜麦魔芋挂面工艺参数。

#### 1.4.1 单因素试验

(1) 藜麦粉添加量对藜麦魔芋挂面品质的影响:控制藜麦粉添加量分别为0%,10%,20%,30%,40%,水添加量50%,魔芋精粉添加量2%,熟化时间20 min,探讨其对挂面蒸煮损失率、质构特性、感官评分及综合评分的影响。

(2) 水添加量对藜麦魔芋挂面品质的影响:控制水添加量分别为40%,45%,50%,55%,60%,藜麦粉添加量20%,魔芋精粉添加量2%,熟化时间20 min,探讨其对挂面蒸煮损失率、质构特性、感官评分及综合评分的影响。

(3) 魔芋精粉添加量对藜麦魔芋挂面品质的影响:控制魔芋精粉添加量分别为 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 藜麦粉添加量 20%, 水添加量 50%, 熟化时间 20 min, 探讨其对挂面蒸煮损失率、质构特性、感官评分及综合评分的影响。

(4) 熟化时间对藜麦魔芋挂面品质的影响:控制熟化时间分别为 0, 10, 20, 30, 40 min, 藜麦粉添加量 20%, 水添加量 50%, 魔芋精粉添加量 2%, 探讨其对挂面蒸煮损失率、质构特性、感官评分及综合评分的影响。

**1.4.2 响应面试验** 在单因素试验的基础上, 根据 Box-Behnken 试验设计原理, 以综合评分为响应值, 选择藜麦粉添加量、水添加量、魔芋精粉添加量及熟化时间 4 个因素为自变量, 设计四因素三水平响应面优化试验, 以优化藜麦魔芋挂面的工艺参数。

**1.4.3 挂面品质特性测定** 为进行挂面品质测定, 需提前测定挂面蒸煮时间。参考 GB/T 40636—2021《挂面》中的方法, 用电磁炉加热盛有样品质量 50 倍清水的蒸煮锅, 使水保持微沸状态。称取 10 g 完整的挂面, 放入沸水中, 开始计时。2 min 后开始取样, 每隔 30 s 用筷子夹出 1 根挂面, 用两块玻璃片压扁, 观察挂面内部是否有白芯, 白芯消失时所记录的时间即为挂面蒸煮时间。根据预试验结果, 后续试验所涉及挂面蒸煮时间为 4 min。

(1) 挂面质构特性测定: 对面条进行质地剖面分析 (TPA) 测定。取 10 g 挂面蒸煮 4 min 后立即捞出, 放入冷水冷却 30 s, 然后捞出沥水准备测定。取 3 根煮熟的挂面, 用滤纸将面条表面的水分吸干, 并排放置于质构仪载物台中央, 与载物台侧边保持平行, 选用 P/36R 探头, 测定面条的 TPA 指标, 每组做 5 次平行试验。TPA 参数设定: 测前速度 0.80 mm/s, 测试速度 2.00 mm/s, 测后速度 0.80 mm/s, 测试模式 Strain, 压缩比例 70.0%, 触发力 0.05 N。

(2) 挂面蒸煮损失率测定: 用可调式电炉加热盛有 500 mL 清水的蒸煮锅, 保持水的微沸状态, 称取 10 g 完整的挂面, 放入沸水中, 蒸煮 4 min, 然后将挂面捞出沥水。将面汤放入烧杯中加热, 蒸发水分至 100 mL 左右, 再置于铝盒中放入干燥箱内, 在 105 °C 下干燥至恒重, 按式(1)计算藜麦魔芋挂面的蒸煮损失率。

$$L = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

$L$ —挂面蒸煮损失率, %;

$m$ —挂面质量, g;

$m_1$ —铝盒质量, g;

$m_2$ —烘干后铝盒和干燥物总质量, g。

(3) 藜麦魔芋挂面感官评价: 参考朱苗等<sup>[19]</sup>的方法并结合藜麦魔芋挂面的实际特点稍作修改, 制定藜麦魔芋挂面感官评分标准。藜麦魔芋挂面感官评价小组由 10 名

感官评价员组成, 从色泽、表观状态、适口性、弹性、黏性、光滑性、食味 7 项指标评价煮制后挂面的感官特性。藜麦魔芋挂面的感官特性用感官评分(评分标准见表 1)表示, 满分为 100 分。

表 1 藜麦魔芋挂面感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria of quinoa-konjac dried noodles

评价指标	满分	评价标准
色泽	10	面条呈明显藜麦黄色, 颜色均匀有光泽(8~10分) 颜色基本均匀, 稍暗淡(4~7分) 颜色暗淡无光泽(1~3分)
表观状态	10	表面光滑平整, 无裂纹(8~10分) 表面较光滑, 略有裂纹(4~7分) 表面粗糙, 有裂纹(1~3分)
适口性	20	软硬适中(16~20分) 偏软或偏硬(9~15分) 太软或太硬(1~8分)
弹性	20	富有弹性, 有嚼劲(16~20分) 弹性、嚼劲一般(9~15分) 弹性较差, 无嚼劲(1~8分)
黏性	20	不粘牙, 爽口(16~20分) 略粘牙, 较爽口(9~15分) 粘牙, 不爽口(1~8分)
光滑性	10	口感顺滑(8~10分) 口感较光滑(4~7分) 口感粗糙(1~3分)
食味	10	藜麦风味明显(8~10分) 无异味(4~7分) 有异味(1~3分)

#### 1.4.4 藜麦魔芋挂面品质模糊综合评价

(1) 藜麦魔芋挂面品质模糊综合评价的指标: 挂面品质综合评价指标记为  $U_i, i=1, 2, 3, \dots, n$ 。参考相关研究<sup>[20~21]</sup>并根据具体单因素试验情况, 选取蒸煮损失率  $U_1$ 、硬度  $U_2$ 、胶黏性  $U_3$ 、咀嚼性  $U_4$ 、感官评分  $U_5$  为挂面品质评价指标。其中蒸煮损失率  $U_1$  为负向指标, 其他为正向指标。根据预试验得到各指标范围:  $U_1=5\% \sim 15\%$ ,  $U_2=39.23 \sim 58.84$  N,  $U_3=2000 \sim 4000$ ,  $U_4=2000 \sim 4000$ ,  $U_5=60 \sim 100$  分。

(2) 建立隶属度函数: 藜麦魔芋挂面各个品质评价指标间量纲存在差异性, 为进行模糊综合评价, 需要将各指标换算成隶属度值, 根据线性模型建立隶属度函数。

正向指标公式为:

$$P(U_i)=\frac{U_i-N}{M-N}, \quad (2)$$

负向指标公式为:

$$P(U_i) = \frac{M - U_i}{M - N}, \quad (3)$$

式中:

$P(U_i)$ ——指标  $U_i$  的隶属度值;

$N$ ——指标  $U_i$  的最小值;

$M$ ——指标  $U_i$  的最大值。

(3) 综合评分计算:综合评分为各品质评价指标隶属度值与其在评价体系中所占权重乘积的总和,按式(4)计算综合评分。

$$Z = \sum_{i=1}^n P(U_i) W_i \times 100, \quad (4)$$

式中:

$Z$ ——综合评分;

$W_i$ ——各品质评价指标在评价体系中所占权重,其中  $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ 。

参考相关研究<sup>[15,21]</sup>,并结合各指标对挂面品质影响的重要程度,确定各品质评价指标在评价体系中所占权重依次为  $W_1=0.10$ ,  $W_2=0.15$ ,  $W_3=0.15$ ,  $W_4=0.15$ ,  $W_5=0.45$ 。

### 1.5 数据统计与分析

每个试验重复操作3次,试验结果以平均值±标准差表示,用Excel软件统计试验数据,Origin 2021软件制图,IBM SPSS Statistics 27软件进行显著性分析,Design-

Expert 13软件设计响应面试验方案。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验

2.1.1 藜麦粉添加量对藜麦魔芋挂面品质的影响 由表2可知,随着藜麦粉添加量的增加,挂面的硬度、胶黏性和咀嚼性呈逐渐增大的趋势;弹性、内聚性和回复性无显著差异。由表2可知,随着藜麦粉添加量的增加,挂面的蒸煮损失率不断增高。这可能是因为加入藜麦粉后,藜麦粉几乎不含面筋蛋白,会稀释面粉中的面筋蛋白,降低面筋的延展性和面筋蛋白的结合性能,使面条质地变硬<sup>[22]</sup>。此外藜麦粉含有较高含量的蛋白质,挂面的质构特性的变化可能与蛋白质含量变高有关<sup>[23~24]</sup>。藜麦粉不利于形成稳定的面筋网络结构,降低面团的稳定性,使溶出率增高、易浑汤,导致蒸煮损失率增加<sup>[25]</sup>。随着藜麦粉添加量的增加,挂面的感官评分和综合评分先增大后减小,在藜麦粉添加量20%时最大。适当添加藜麦粉的挂面,因藜麦粉的存在变得富有嚼劲,口感风味较好,同时有着独特的藜麦香味和色泽。藜麦粉添加量过多时,挂面变得色泽暗淡,藜麦中的皂苷类物质使挂面产生轻微苦味。藜麦粉的蛋白质含量显著高于小麦粉,其添加调整了挂面的营养构成。相关文献<sup>[23~24]</sup>表明,熟面条的质构特性与蛋白质含量呈正相关,而蒸煮特性与蛋白质含量呈负相关。

表2 藜麦粉添加量对藜麦魔芋挂面品质指标及综合评分的影响<sup>†</sup>

Table 2 Effects of quinoa flour addition on quality indicators and comprehensive score of quinoa-konjac dried noodles

藜麦粉添加量/%	硬度/N	弹性	内聚性	胶黏性	咀嚼性	回复性	蒸煮损失率/%	感官评分	综合评分
0	39.54±0.47 <sup>d</sup>	0.91±0.01 <sup>c</sup>	0.68±0.01 <sup>a</sup>	2 672.32±47.61 <sup>c</sup>	2 523.49±41.69 <sup>d</sup>	0.35±0.01	7.07±0.12 <sup>d</sup>	75.1±0.7 <sup>d</sup>	34.16±0.74 <sup>c</sup>
10	47.20±0.67 <sup>c</sup>	0.95±0.00 <sup>a</sup>	0.65±0.01 <sup>b</sup>	3 044.03±89.58 <sup>b</sup>	2 852.10±57.88 <sup>c</sup>	0.34±0.02	7.69±0.27 <sup>c</sup>	83.7±0.5 <sup>b</sup>	54.30±1.52 <sup>c</sup>
20	50.66±0.61 <sup>b</sup>	0.93±0.00 <sup>b</sup>	0.67±0.01 <sup>ab</sup>	3 256.57±11.39 <sup>a</sup>	2 989.06±47.06 <sup>ab</sup>	0.35±0.02	8.41±0.19 <sup>b</sup>	85.3±0.3 <sup>a</sup>	60.60±0.32 <sup>a</sup>
30	51.25±0.37 <sup>b</sup>	0.94±0.01 <sup>ab</sup>	0.62±0.01 <sup>c</sup>	3 293.74±40.66 <sup>a</sup>	2 960.92±54.45 <sup>b</sup>	0.32±0.02	8.94±0.25 <sup>b</sup>	82.1±0.3 <sup>c</sup>	57.07±0.79 <sup>b</sup>
40	53.41±0.46 <sup>a</sup>	0.95±0.01 <sup>a</sup>	0.67±0.02 <sup>ab</sup>	3 325.46±58.38 <sup>a</sup>	3 017.62±28.08 <sup>a</sup>	0.33±0.02	11.45±0.32 <sup>a</sup>	66.7±0.8 <sup>c</sup>	39.47±1.31 <sup>d</sup>

† 同列小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

2.1.2 水添加量对藜麦魔芋挂面品质的影响 由表3可知,随着水添加量的增加,藜麦魔芋挂面的硬度、胶黏性和咀嚼性均先增大后减小,在水添加量50%时最大;弹性、内聚性和回复性无显著差异。随着水添加量的增加,藜麦魔芋挂面的蒸煮损失率呈现先减小后增大的趋势,在水添加量45%时最小。这可能是因为水添加量较低时,面筋蛋白未充分水化,面条内部结构不稳定。适当的水添加量,可以增加淀粉的溶胀度,增强面筋网络结构间的连接<sup>[26]</sup>,有利于面筋网络的充分形成<sup>[27]</sup>。水添加量过多时,在压延时容易粘辊,面团内部结合力变弱,导致挂面质构特性变差<sup>[28]</sup>,面条成型差,面筋网络强度降低<sup>[29]</sup>,

蒸煮损失增大。藜麦魔芋挂面的感官评分和综合评分随着水添加量的增加呈先增大后减小的趋势,在水添加量50%时最大。水添加量过少时,面团偏干,制作的挂面略显粗糙,不够爽滑;水添加量适当时,面条结构致密,口感爽滑;水添加量过多时,面条弹性降低,色泽变暗。

2.1.3 魔芋精粉添加量对藜麦魔芋挂面品质的影响 由表4可知,随着魔芋精粉添加量的增加,藜麦魔芋挂面的硬度、胶黏性和咀嚼性都呈先增大后减小的趋势;弹性、内聚性和回复性无显著差异。随着魔芋精粉添加量的增加,藜麦魔芋挂面的蒸煮损失率先减小后增大,在魔芋精粉添加量为2%时最小。这可能是因为魔芋精粉中的魔

表 3 水添加量对藜麦魔芋挂面品质指标及综合评分的影响<sup>†</sup>

Table 3 Effects of water addition on quality indicators and comprehensive score of quinoa-konjac dried noodles

水添加量/%	硬度/N	弹性	内聚性	胶黏性	咀嚼性	回复性	蒸煮损失率/%	感官评分	综合评分
40	49.47±0.53 <sup>b</sup>	0.94±0.02 <sup>a</sup>	0.64±0.00 <sup>b</sup>	3 051.33±60.23 <sup>b</sup>	2 842.69±20.95 <sup>b</sup>	0.33±0.01 <sup>bc</sup>	10.46±0.31 <sup>a</sup>	72.0±0.7 <sup>d</sup>	40.12±0.96 <sup>c</sup>
45	49.93±0.37 <sup>ab</sup>	0.95±0.00 <sup>a</sup>	0.66±0.01 <sup>a</sup>	3 162.39±69.84 <sup>a</sup>	2 946.56±50.35 <sup>a</sup>	0.36±0.01 <sup>a</sup>	8.25±0.22 <sup>b</sup>	85.0±0.4 <sup>b</sup>	58.84±0.41 <sup>b</sup>
50	50.66±0.61 <sup>a</sup>	0.93±0.00 <sup>ab</sup>	0.67±0.01 <sup>a</sup>	3 256.57±11.39 <sup>a</sup>	2 989.06±47.06 <sup>a</sup>	0.35±0.02 <sup>ab</sup>	8.41±0.20 <sup>b</sup>	85.3±0.3 <sup>a</sup>	60.60±0.31 <sup>a</sup>
55	48.50±0.49 <sup>c</sup>	0.93±0.01 <sup>ab</sup>	0.63±0.00 <sup>c</sup>	3 004.48±75.19 <sup>bc</sup>	2 767.39±34.55 <sup>c</sup>	0.31±0.00 <sup>c</sup>	8.91±0.32 <sup>c</sup>	80.6±0.5 <sup>c</sup>	49.65±1.15 <sup>d</sup>
60	45.61±0.48 <sup>d</sup>	0.92±0.01 <sup>b</sup>	0.62±0.01 <sup>c</sup>	2 907.59±64.13 <sup>c</sup>	2 564.31±36.57 <sup>d</sup>	0.31±0.01 <sup>c</sup>	9.22±0.26 <sup>c</sup>	65.9±0.3 <sup>c</sup>	28.38±0.46 <sup>c</sup>

† 同列小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

芋葡甘聚糖有着极强的吸水性,在吸水形成凝胶的过程中,魔芋葡甘聚糖与蛋白质可以相互作用,形成更致密的面筋网络,提高质构特性,淀粉颗粒包裹在面筋网络中,不易溶出,蒸煮损失率下降<sup>[30]</sup>。当魔芋精粉添加过多时,魔芋葡甘聚糖会与蛋白质和淀粉竞争水分,面筋蛋白无法充分水化,面筋网络结构被破坏<sup>[31]</sup>。Zhou 等<sup>[32]</sup>的研究也证明了魔芋精粉会影响面筋网络和淀粉颗粒结构。随着魔芋精粉添加量的增加,藜麦魔芋挂面的感官评分和综合评分先增大后减小,在魔芋精粉添加量为 2% 时最大。适当添加魔芋精粉的挂面颜色透亮,表面致密,口感劲道;继续增大魔芋精粉添加量,挂面口感会变得黏腻,同时可能会略有一丝魔芋精粉独有的不愉快味道。魔芋精粉有着较高的膳食纤维含量,将魔芋精粉添加到小麦

粉中,可以增加挂面中膳食纤维含量,降低挂面的升糖指数,使挂面更加营养健康<sup>[9]</sup>。

2.1.4 熟化时间对藜麦魔芋挂面品质的影响 由表 5 可知,随着熟化时间的增加,藜麦魔芋挂面的硬度、胶黏性和咀嚼性均呈先增大后减小的趋势,在熟化时间 20 min 时最大;弹性、内聚性和回复性无显著差异。随着熟化时间的增加,藜麦魔芋挂面的蒸煮损失率先减小后增大,在熟化时间 10 min 时最小。未经过熟化或熟化不充分的面团,其大部分水分仍停留在面团表面,蛋白质分子未能充分吸水,制作出的面条面筋网络结构的稳定性差,硬度低,蒸煮损失率大<sup>[33]</sup>。经过适当的熟化时间,面条的蒸煮损失率较小,蛋白质结构中的巯基被氧化成二硫键,蛋白质分子相互粘连,形成相对稳定的面筋网络<sup>[34]</sup>。熟化时

表 4 魔芋精粉添加量对藜麦魔芋挂面品质指标及综合评分的影响<sup>†</sup>

Table 4 Effects of konjac flour addition on quality indicators and comprehensive score of quinoa-konjac dried noodles

魔芋精粉添加量/%	硬度/N	弹性	内聚性	胶黏性	咀嚼性	回复性	蒸煮损失率/%	感官评分	综合评分
0	49.77±0.57 <sup>cd</sup>	0.91±0.00 <sup>b</sup>	0.66±0.01 <sup>a</sup>	3 061.51±47.00 <sup>c</sup>	2 839.05±52.95 <sup>c</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>	9.19±0.28 <sup>b</sup>	79.7±0.3 <sup>d</sup>	50.32±0.39 <sup>d</sup>
1	50.87±0.25 <sup>a</sup>	0.93±0.01 <sup>ab</sup>	0.64±0.01 <sup>b</sup>	3 119.47±16.38 <sup>bc</sup>	2 957.05±48.69 <sup>ab</sup>	0.32±0.01 <sup>bc</sup>	8.82±0.22 <sup>c</sup>	83.4±0.3 <sup>c</sup>	56.95±0.81 <sup>c</sup>
2	50.66±0.53 <sup>ab</sup>	0.93±0.00 <sup>ab</sup>	0.67±0.01 <sup>a</sup>	3 256.57±11.39 <sup>a</sup>	2 989.06±47.06 <sup>a</sup>	0.35±0.02 <sup>ab</sup>	8.41±0.20 <sup>d</sup>	85.3±0.3 <sup>a</sup>	60.60±0.31 <sup>a</sup>
3	49.97±0.12 <sup>bc</sup>	0.91±0.02 <sup>b</sup>	0.63±0.01 <sup>b</sup>	3 147.25±48.76 <sup>b</sup>	2 913.03±36.22 <sup>bc</sup>	0.33±0.01 <sup>abc</sup>	8.88±0.19 <sup>c</sup>	82.5±0.5 <sup>b</sup>	55.14±1.36 <sup>c</sup>
4	49.00±0.45 <sup>d</sup>	0.93±0.01 <sup>a</sup>	0.64±0.00 <sup>b</sup>	2 812.70±32.54 <sup>d</sup>	2 748.65±22.79 <sup>d</sup>	0.32±0.00 <sup>c</sup>	9.69±0.27 <sup>a</sup>	76.4±0.6 <sup>c</sup>	42.98±0.42 <sup>c</sup>

† 同列小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

表 5 熟化时间对藜麦魔芋挂面品质指标及综合评分的影响<sup>†</sup>

Table 5 Effects of curing time on quality indicators and comprehensive score of quinoa-konjac dried noodles

熟化时间/min	硬度/N	弹性	内聚性	胶黏性	咀嚼性	回复性	蒸煮损失率/%	感官评分	综合评分
0	47.30±0.23 <sup>c</sup>	0.96±0.01 <sup>ab</sup>	0.65±0.01 <sup>b</sup>	3 000.32±50.50 <sup>c</sup>	2 793.11±14.62 <sup>d</sup>	0.31±0.01 <sup>b</sup>	8.45±0.28 <sup>ab</sup>	79.1±0.4 <sup>d</sup>	47.66±0.68 <sup>d</sup>
10	48.59±0.42 <sup>b</sup>	0.97±0.01 <sup>a</sup>	0.68±0.01 <sup>a</sup>	3 140.27±34.91 <sup>b</sup>	2 970.63±25.52 <sup>ab</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>	7.96±0.19 <sup>b</sup>	81.8±0.2 <sup>c</sup>	54.52±0.04 <sup>c</sup>
20	50.66±0.61 <sup>a</sup>	0.93±0.00 <sup>c</sup>	0.67±0.01 <sup>ab</sup>	3 256.57±11.39 <sup>a</sup>	2 989.06±47.06 <sup>a</sup>	0.35±0.02 <sup>a</sup>	8.41±0.20 <sup>ab</sup>	85.3±0.3 <sup>a</sup>	60.60±0.31 <sup>a</sup>
30	49.20±0.34 <sup>b</sup>	0.95±0.01 <sup>b</sup>	0.66±0.00 <sup>b</sup>	3 115.55±31.26 <sup>b</sup>	2 936.35±23.64 <sup>b</sup>	0.34±0.01 <sup>ab</sup>	8.65±0.22 <sup>a</sup>	83.5±0.5 <sup>b</sup>	55.80±0.75 <sup>b</sup>
40	46.55±0.41 <sup>d</sup>	0.96±0.02 <sup>ab</sup>	0.68±0.01 <sup>a</sup>	3 086.46±16.29 <sup>b</sup>	2 877.89±25.50 <sup>c</sup>	0.36±0.02 <sup>a</sup>	8.87±0.28 <sup>a</sup>	76.8±0.2 <sup>c</sup>	45.32±0.22 <sup>c</sup>

† 同列小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

间过长,面团开始软化,挂面的内部应力降低,质构特性变差,淀粉链发生断裂,蒸煮损失也随之增大<sup>[35]</sup>。随着熟化时间的增加,藜麦魔芋挂面的感官评分和综合评分先增大后减小,在熟化时间20 min时达到最大。挂面经过适当的熟化,品质有所提升,其表面光滑,富有嚼劲;熟化时间过长,挂面口感逐渐变得绵软,食用体验和综合品质下降。

## 2.2 响应面试验

2.2.1 响应面设计方案及结果 试验因素水平见表6,试验方案与结果见表7。

2.2.2 响应面试验结果分析 采用Design-Expert 13软件对表7的试验结果进行二次回归分析,得到以综合评分为响应值的回归方程:

表6 Box-Behnken试验因素与水平

Table 6 Factors and levels of the Box-Behnken design

水平	A 藜麦粉添 加量/%	B 水添加 量/%	C 魔芋精粉添 加量/%	D 熟化时 间/min
-1	10	45	1	10
0	20	50	2	20
1	30	55	3	30

$$Z=60.5336+1.45711A-4.55429B-0.69181C-0.795068D+0.102125AB+0.0616562AC-0.391894AD+0.0469031BC-0.742167BD-0.0787219CD-4.55918A^2-6.28594B^2-4.39537C^2-5.33475D^2 \quad (5)$$

由表8可知,模型  $P < 0.0001$ ,极显著,失拟项  $P > 0.05$ ,不显著,说明该回归方程拟合性良好,具有显著意

表7 响应面试验方案与结果

Table 7 Response surface design and test results

试验号	A	B	C	D	蒸煮损失率/%	硬度/N	胶黏性	咀嚼性	感官评分	综合评分
1	1	-1	0	0	8.75	50.53	3 194.31	2 930.05	81.9	55.41
2	0	-1	-1	0	8.65	50.15	3 022.28	2 912.54	83.1	55.21
3	0	-1	0	-1	7.79	47.91	3 044.08	2 930.12	82.5	53.94
4	0	-1	0	1	8.51	48.50	3 019.36	2 901.84	82.5	53.30
5	1	0	1	0	9.31	50.49	3 180.45	2 887.63	79.9	52.25
6	-1	0	1	0	8.12	46.65	2 948.58	2 789.61	81.0	49.17
7	1	1	0	0	9.42	49.16	3 034.55	2 779.09	78.3	47.35
8	1	0	0	1	9.15	49.68	3 142.42	2 924.31	79.3	51.09
9	-1	-1	0	0	7.56	46.55	2 965.48	2 824.86	83.3	52.63
10	0	1	1	0	9.36	47.88	2 903.15	2 720.36	78.2	44.87
11	1	0	0	-1	8.49	49.18	3 181.31	2 951.57	80.6	53.27
12	0	0	0	0	8.28	50.61	3 269.72	2 947.19	85.4	60.61
13	0	0	0	0	8.37	50.67	3 241.73	2 980.92	85.1	60.30
14	0	0	1	-1	8.45	47.98	3 037.94	2 910.59	80.4	50.84
15	-1	0	-1	0	8.14	47.69	2 921.67	2 828.36	81.2	50.35
16	-1	0	0	-1	7.28	45.47	2 961.28	2 826.54	81.1	49.68
17	0	1	-1	0	9.35	48.78	2 865.37	2 741.38	78.8	46.15
18	1	0	-1	0	9.37	51.47	3 146.52	2 938.97	80.0	53.18
19	0	0	-1	1	9.10	49.51	2 985.44	2 917.34	80.7	51.32
20	0	0	-1	-1	8.38	48.86	3 013.16	2 944.62	81.1	52.41
21	0	1	0	-1	8.52	46.49	2 894.17	2 754.96	78.6	45.33
22	0	-1	1	0	8.75	49.39	3 048.06	2 882.52	82.4	53.74
23	0	0	1	1	9.15	48.54	3 014.22	2 867.31	79.9	49.44
24	0	1	0	1	9.20	44.26	2 865.45	2 720.68	77.9	41.72
25	0	0	0	0	8.44	50.36	3 281.29	2 992.52	85.6	60.88
26	-1	1	0	0	8.25	45.38	2 813.35	2 665.53	79.2	44.16
27	0	0	0	1	7.94	46.05	2 926.47	2 818.69	81.1	49.07
28	-1	0	0	1	7.94	46.05	2 926.47	2 818.69	81.1	49.07
29	0	0	0	0	8.31	50.33	3 269.83	2 951.78	85.6	60.67

义。回归方程的相关系数  $R^2$  为 0.9945, 校正决定系数  $R_{\text{Adj}}^2$  为 0.9891, 预测决定系数  $R_{\text{Pred}}^2$  为 0.9703, 说明该回归方程可以显著反映各因素对挂面综合评分的影响。根据回归方程的方差分析结果可知, A、B、C、D、A<sup>2</sup>、B<sup>2</sup>、C<sup>2</sup>、D<sup>2</sup> 对综合评分的影响极显著, BD 对综合评分影响显著, AB、AC、AD、BC、CD 对综合评分的影响不显著。由  $F$  值可知, 4 个因素对综合评分影响的主次顺序为 B>A>D>C。

表 8 响应面试验结果方差分析表<sup>†</sup>

Table 8 Analysis of variance of response surface test results

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	746.50	14	53.32	182.41	<0.0001	**
A	25.48	1	25.48	87.16	<0.0001	**
B	248.90	1	248.90	851.48	<0.0001	**
C	5.74	1	5.74	19.65	0.0006	**
D	7.59	1	7.59	25.95	0.0002	**
AB	0.04	1	0.04	0.14	0.7113	
AC	0.02	1	0.02	0.05	0.8229	
AD	0.61	1	0.6143	2.10	0.1692	
BC	0.01	1	0.01	0.03	0.8647	
BD	2.20	1	2.20	7.54	0.0158	*
CD	0.02	1	0.02	0.08	0.7752	
A <sup>2</sup>	134.83	1	134.83	461.25	<0.0001	**
B <sup>2</sup>	256.30	1	256.30	876.81	<0.0001	**
C <sup>2</sup>	125.31	1	125.31	428.70	<0.0001	**
D <sup>2</sup>	184.60	1	184.60	631.53	<0.0001	**
残差	4.09	14	0.29			
失拟项	3.78	10	0.38	4.85	0.0709	
纯误差	0.31	4	0.08			
总和	750.59	28				

<sup>†</sup> \* 表示差异显著 ( $P<0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P<0.01$ )。

2.2.3 验证实验 由响应面试验优化出藜麦魔芋挂面配方: 藜麦粉添加量 22.42%, 水添加量 48.38%, 魔芋精粉添加量 1.78%, 熟化时间 19.03 min, 该配方条件下挂面综合评分可达 61.38。根据实际加工条件, 将参数修正后的最佳配方为藜麦粉添加量 22.40%, 水添加量 48.40%, 魔芋精粉添加量 1.80%, 熟化时间 19 min。在该配方条件下进行验证实验, 藜麦魔芋挂面的蒸煮损失率为  $(8.27 \pm 0.04)\%$ , 硬度为  $(49.52 \pm 0.06)$  N, 胶黏性为  $3116.61 \pm 7.27$ , 咀嚼度为  $3066.16 \pm 5.41$ , 感官评分为  $87.1 \pm 0.2$ , 综合评分为  $61.45 \pm 0.13$ , 与预测所得数值的误差在 5% 以内, 说明此模型准确度较高, 合理可靠。

### 2.3 藜麦魔芋挂面感官评价与模糊综合评价的分析对比

由图 1 可知, 感官评分和综合评分的变化趋势相一

致, 表明挂面的综合评分可以表征食用者的主观感受。由于人的感官体验较为模糊, 不够精确, 局限性大, 主观性强, 难以量化, 当挂面的感官评分接近时, 很难精确判别出挂面的品质高低, 例如 3、7、28、29、38、39、40、47 号挂面, 同时蒸煮特性等这类与挂面品质密切相关的指标, 无法通过感官进行评价。综合评分综合了多个品质评价指标, 更客观, 可以量化评分, 直观精确地判别品质高低, 选出品质更优的挂面。总的来说, 感官评价和模糊综合评价都可以对挂面品质进行评判, 感官评价因为人感官的局限性, 有时不够精准, 难以分辨, 模糊综合评价可以更准确地评价挂面的品质。

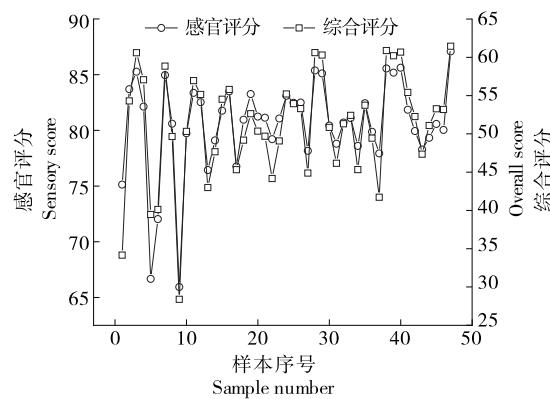


图 1 藜麦魔芋挂面感官评分与综合评分对比

Figure 1 Comparison of sensory score and comprehensive score of quinoa-konjac dried noodles

### 3 结论

在传统小麦挂面中添加藜麦粉和魔芋精粉研制藜麦魔芋挂面。对不同藜麦粉添加量、水添加量、魔芋精粉添加量和熟化时间的藜麦魔芋挂面的蒸煮品质、质构特性和感官评价进行测定, 采用模糊综合评价法对藜麦魔芋挂面进行综合评价, 在单因素试验的基础上, 采用响应面试验优化出藜麦魔芋挂面最佳配方。响应面试验得到影响藜麦魔芋挂面品质因素的顺序为水添加量>藜麦粉添加量>熟化时间>魔芋精粉添加量, 最佳配方为藜麦粉添加量 22.40%, 水添加量 48.40%, 魔芋精粉添加量 1.80%, 熟化时间 19 min。此条件下, 藜麦魔芋挂面的蒸煮损失率为  $(8.27 \pm 0.04)\%$ , 硬度为  $(49.52 \pm 0.06)$  N, 胶黏性为  $3116.61 \pm 7.27$ , 咀嚼度为  $3066.16 \pm 5.41$ , 感官评分为  $87.1 \pm 0.2$ , 综合评分为  $61.45 \pm 0.13$ , 此时的藜麦魔芋挂面口感顺滑, 富有弹性, 硬度适中, 呈明显藜麦黄色, 具有特殊的藜麦风味。模糊综合评价综合多个品质指标进行量化评分, 可以衡量品质指标对藜麦魔芋挂面品质的综合影响, 克服感官评价中的主观性和局限性, 更准确地评价藜麦魔芋挂面的品质。

## 参考文献

- [1] 陈文文,申瑞玲.挂面的研究现状及发展趋势[J].粮食与油脂,2023,36(1): 29-33.
- CHEN W W, SHEN R L. Research status and development trend of fine dried noodles[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(1): 29-33.
- [2] 沈篪.中国食品工业年鉴:2023[M].长春:吉林科学技术出版社,2024: 24-25.
- SHEN C. China food industry yearbook: 2023[M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 2024: 24-25.
- [3] MANURUNG H, SILALAHI J, SIAHAAN D, et al. Nanoemulsion preparation base on palm fiber mesocarp residue's oil and its application on dry noodle[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 205 (1): 012030.
- [4] DAKHILI S, ABDOLALIZADEH L, HOSSEINI S M, et al. Quinoa protein: composition, structure and functional properties [J]. Food Chemistry, 2019, 299: 125161.
- [5] GORDILLO-BASTIDAS E, DÍAZ-RIZZOLO D A. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*), from nutritional value to potential health benefits: an integrative review[J]. Journal of Nutrition & Food Sciences, 2016, 6(3): 1000497.
- [6] ZANNINI E, JONES J M, RENZETTI S, et al. Functional replacements for gluten[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2012, 3: 227-245.
- [7] LAIGNIER F, AKUTSU R DE C C DE A, MALDONADE I R, et al. Amorphophallus konjac: a novel alternative flour on gluten-free bread[J]. Foods (Basel, Switzerland), 2021, 10(6): 1 206.
- [8] KULKARNI D, AGNIHOTRI V, BHINGE S, et al. Konjac glucomannan: a functional biopolymer for multifaceted drug delivery applications[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2024, 35(7): e6512.
- [9] 程晴,王月慧.魔芋粉对面条升糖指数及食用品质的影响[J].武汉轻工大学学报,2024,43(3): 8-15.
- CHENG Q, WANG Y H. Effect of konjac powder the glycemic index(GI) and edible quality of noodles[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2024, 43(3): 8-15.
- [10] 葛珍珍,张圆圆,李盈,等.魔芋葡甘聚糖对面条质构及微观结构的影响[J].粮食与油脂,2021,34(9): 67-72.
- GE Z Z, ZHANG Y Y, LI Y, et al. Effect of konjac glucomannan on the texture and microstructure of noodles[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(9): 67-72.
- [11] 王琦,姜鹏,王长远,等.固态发酵高粱的添加对高粱挂面品质的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2024, 36(6): 52-57, 92.
- WANG Q, JIANG P, WANG C Y, et al. Addition of sorghum by solid-state fermentation and its effects on dried sorghum-noodle quality[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2024, 36(6): 52-57, 92.
- [12] 杨园园,郇美丽,李桐,等.不同厚度发酵挂面品质研究[J].食品与发酵科技,2024, 60(5): 89-94, 126.
- YANG Y Y, XUN M L, LI T, et al. Study on the quality of fermented noodles with different thicknesses[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2024, 60(5): 89-94, 126.
- [13] 蔡松连,吴善芬.马铃薯燕麦全谷物营养挂面配方优化[J].浙江农业科学,2024, 65(2): 405-408.
- CAI S L, WU S F. Formula optimization of potato oat whole grain nutritional noodles[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2024, 65(2): 405-408.
- [14] 沙芮,丁洁,陈静,等.模糊数学感官评价法优化桑叶速溶固体茶配方[J].食品工业科技,2022, 43(11): 200-207.
- SHA R, DING J, CHEN J, et al. Optimization of mulberry leaf instant solid tea formula by fuzzy mathematics sensory evaluation method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(11): 200-207.
- [15] 胡欣洁,赵雪梅,丁捷,等.基于模糊综合评价法优化挤压型速冻青稞鱼面关键工艺[J].食品与机械,2017, 33(4): 164-170, 194.
- HU X J, ZHAO X M, DING J, et al. Research on the key technological application of extrusion type quick-frozen highland barley fish noodle based on the fuzzy comprehensive [J]. Food & Machinery, 2017, 33(4): 164-170, 194.
- [16] 王阳,王文辉,佟伟,等.基于模糊综合评判法优选冻梨工艺参数及糖酸含量研究[J].食品工业科技,2021, 42(2): 124-129, 137.
- WANG Y, WANG W H, TONG W, et al. Optimal processes for frozen pears (*Pyrus ussuriensis* Maxim.) based on the fuzzy comprehensive evaluation method and sugar and acid contents [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(2): 124-129, 137.
- [17] PERROT N, IOANNOU I, ALLAIS I, et al. Fuzzy concepts applied to food product quality control: a review[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2006, 157(9): 1 145-1 154.
- [18] 蔡梦迪,李玉辉,沈春霞,等.响应曲面设计结合熵权法优化石磨全麦挂面配方[J].食品与发酵工业,2024, 50(5): 259-266.
- CAI M D, LI Y H, SHEN C X, et al. Recipe optimization of stone-milled whole wheat noodles by response surface design and entropy weight method[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(5): 259-266.
- [19] 朱苗,刘毅,韦泽钊,等.鱼腥草面条的工艺优化及品质分析 [J].食品工业,2024, 45(1): 32-36.
- ZHU M, LIU Y, WEI Z Z, et al. Process optimization and quality determination of houttuynia cordata noodles[J]. The Food Industry, 2024, 45(1): 32-36.
- [20] 张云亮,窦博鑫,刘丽宅,等.基于变异系数法分析四种改良剂对马铃薯面条品质的影响[J].食品工业科技,2021, 42(5): 26-32.
- ZHANG Y L, DOU B X, LIU L Z, et al. Analysis of effects of

- four improvers on quality of potato noodles based on the coefficient of variation method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(5): 26-32.
- [21] 雷雪梅, 贾洪峰, 杨莉, 等. 葡萄叶粉颗粒度对面条品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(7): 118-122, 149.  
LEI X M, JIA H F, YANG L, et al. Effect of grape leaf powder granularity on noodle quality[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(7): 118-122, 149.
- [22] 王庆卫, 刘启玲. 藜麦粉对面条品质以及体外消化特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(1): 31-34.  
WANG Q W, LIU Q L. Effects of quinoa powder on noodle quality and *in vitro* digestion characteristics[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(1): 31-34.
- [23] 陈玉峰. 小麦粉中蛋白质和淀粉含量对面条品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(1): 82-85.  
CHEN Y F. Effect of protein and starch content in wheat flour on noodle quality[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(1): 82-85.
- [24] HSIEH C F, WANG L K, XU B, et al. Preparation and textural properties of white salted noodles made with hard red winter wheat flour partially replaced by different levels of cross-linked phosphorylated RS4 wheat starch[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(15): 5 334-5 343.
- [25] LAMOTHE L M, SRICHUWONG S, REUHS B L, et al. Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans[J]. Food Chemistry, 2015, 167: 490-496.
- [26] PHONGTHAI S, D'AMICO S, SCHOENLECHNER R, et al. Effects of protein enrichment on the properties of rice flour based gluten-free pasta[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 80: 378-385.
- [27] 常战战, 王纪鹏, 刘云袆, 等. 制面方式对煮制面条粘连的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(6): 76-85.  
CHANG Z Z, WANG J P, LIU Y Y, et al. Effect of noodle processing technology on adhesion of cooked noodles[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(6): 76-85.
- [28] 刘玉洁. 鲜湿面蒸煮品质主要影响因素研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021: 57.
- LIU Y J. Study on the main factors affecting the cooking quality of fresh wet noodles[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021: 57.
- [29] 冯亚运, 朱怡霖. 花椒挂面加工工艺及品质研究[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(5): 124-128.  
FENG Y Y, ZHU Y L. Study on processing technology and quality of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. noodles[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(5): 124-128.
- [30] 韦倩妮, 容英霖, 吴军, 等. 不同增稠剂对面条品质影响的研究进展[J]. 现代食品, 2020(23): 20-22.  
WEI Q N, RONG Y L, WU J, et al. Research progress on the effect of different thickeners on the quality of noodles[J]. Modern Food, 2020(23): 20-22.
- [31] 汪师帅, 邹慧, 郑苑园, 等. 魔芋精粉添加量对碱面条品质的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 178-182.  
WANG S S, ZOU H, ZHENG P Y, et al. Effect of konjac flour amounts on the quality of alkali noodles[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(2): 178-182.
- [32] ZHOU Y, CAO H, HOU M, et al. Effect of konjac glucomannan on physical and sensory properties of noodles made from low-protein wheat flour[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 879-885.
- [33] 崔文甲, 刘骏, 王文亮, 等. 加工工艺对金针菇挂面品质影响的研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(9): 18-21.  
CUI W J, LIU J, WANG W L, et al. Effect of the processing technology on the quality of *flammulina velutipes* noodles[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(9): 18-21.
- [34] 汪丽萍, 刘姣, 刘艳香, 等. 加工工艺对麸皮酶处理全麦挂面品质影响的研究[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(5): 8-13.  
WANG L P, LIU J, LIU Y X, et al. Effect of the processing technology on the quality of dried noodle made of whole wheat flour with the bran treated by enzyme[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017, 25(5): 8-13.
- [35] 郭祥想, 常悦, 李雪琴, 等. 加工工艺对马铃薯全粉面条品质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 191-195, 200.  
GUO X X, CHANG Y, LI X Q, et al. Effect of the processing technology on the quality of potato powder noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(5): 191-195, 200.