

李安林, 黎璐, 粟立丹, 等. 熵权法对三种添加剂改良高含量马铃薯全粉挂面工艺研究 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 228–234.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080169

LI Anlin, LI Lu, SU Lidan, et al. Improving Technology for High Content Potato Noodle with Three Additives Based on Entropy Weight Method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 228–234. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080169

· 工艺技术 ·

熵权法对三种添加剂改良高含量马铃薯全粉挂面工艺研究

李安林¹, 黎璐², 粟立丹², 熊双丽^{2,*}

(1.四川旅游学院图书馆, 四川成都 621010;

2.四川旅游学院食品学院, 四川成都 610100)

摘要:为优化马铃薯全粉挂面改良工艺, 论文首先以高筋小麦粉、马铃薯全粉为主要原料, 利用单因素结合正交试验设计和熵权法, 探究大豆分离蛋白、瓜尔豆胶、谷氨酰胺转氨酶对马铃薯全粉挂面感官品质和蒸煮特性的影响, 再利用熵权法分析挂面最佳干燥温度。结果表明, 3 种改良剂 (大豆分离蛋白、瓜尔豆胶、谷氨酰胺转氨酶) 均对 38% 马铃薯全粉挂面的蒸煮特性和感官品质有较好的改善作用。对挂面感官品质和综合得分的影响程度由大到小依次为大豆分离蛋白、瓜尔豆胶、谷氨酰胺转氨酶, 最优配方为大豆分离蛋白 6%、瓜尔豆胶 0.9%、谷氨酰胺转氨酶 1.5%。挂面综合得分 0.2028, 感官评分达 84.83 分。熵权法综合评价干燥过程中挂面感官评分、蒸煮损失率、吸水率、硬度、弹性和咀嚼性, 发现干燥温度 70℃ 时挂面品质最佳, 感官评分 84.67±0.40, 蒸煮损失率 8.79%±0.03%, 吸水率 140.33%±1.52%, 硬度 (4.29±0.11) N, 熟断条率为 0%。单因素、正交设计试验结合熵权法能很好综合评价马铃薯挂面品质, 该工艺条件下挂面综合品质高。

关键词: 马铃薯, 挂面, 大豆分离蛋白, 瓜尔豆胶, 谷氨酰胺转氨酶, 工艺

中图分类号: TS215

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2023)10-0228-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080169



本文网刊:

Improving Technology for High Content Potato Noodle with Three Additives Based on Entropy Weight Method

LI Anlin¹, LI Lu², SU Lidan², XIONG Shuangli^{2,*}

(1. Library, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China;

2. Food College, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China)

Abstract: The aim of the article was to optimize the processing technology of potato flour noodles. High gluten wheat flour and potato powder were used as the main raw materials. The single factor experiment, orthogonal design experiment and entropy weight methods were adopted to explore the effect of soybean protein isolate, transglutaminase and guar gum on potato noodle. The results showed that the cooking characteristics and sensory quality of 38% potato noodle were improved by the three modifiers. The order of the factors affecting the sensory quality of potato noodle from big to small was soybean protein isolate, guar gum, glutamine transaminase, respectively. The best formulation was obtained by combining range analysis and entropy weight method, which was 6% soy protein isolate, 0.9% guar gum and 1.5% transglutaminase. According to the above formula, the potato noodle had a comprehensive score of 0.2028, a sensory score of 84.83. The entropy weight method comprehensively was used to evaluate the general quality of dried noodles including sensory score, cooking loss rate, water absorption rate, hardness, elasticity and chewiness quality. It was found that the optimum drying temperature was 70 °C, the sensory score was 84.67±0.40, cooking loss rate was 8.79%±0.03%, water absorption was

收稿日期: 2022-08-18

基金项目: 四川旅游学院科研团队项目 (21SCTUTY03)。

作者简介: 李安林 (1977-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品加工与安全, E-mail: 313266270@qq.com。

* 通信作者: 熊双丽 (1977-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 功能性食品加工与安全, E-mail: lxberry225@163.com。

140.33%±1.52%, hardness was (4.29±0.11) N and the cooked breaking rate was 0%. Single factor, orthogonal design experiment combined with entropy weight method could comprehensively evaluate the quality of potato noodle, and the comprehensive quality of potato noodle was higher under this technological condition.

Key words: potato; dried noodle; soybean protein isolate; guar gum; transglutaminase; technology

马铃薯(*Solanum tuberosum* L)为茄科一年生植物,起源于南美洲安第斯山区,全世界大约有 5000 多个品种。因其产量大、营养价值高,现已成为仅次于小麦、水稻和玉米的第四大世界粮食作物。全球马铃薯产量超 3.7 亿吨,中国马铃薯种植面积超 7000 万亩,总产量 9700 万吨,两者均为世界之首^[1]。

马铃薯块茎富含淀粉(65.90~74.08 g/100g 干物质)、优质蛋白、维生素 C、维生素 B₆、钾、镁、铁、膳食纤维、类黄酮等成分,其中抗性淀粉含量(22.50%)高于玉米淀粉(1.3%)、小麦淀粉(1.0%)和大米淀粉(6.5%)^[2-3]。马铃薯抗性淀粉 R3 有助于控制肥胖,改善代谢综合征和肠道微生态平衡,促进有益菌增长^[4],抗性淀粉 RS4 具有餐后血糖和胰岛素指数反应^[5]。1991~2018 年,我国马铃薯人均产量由 30 kg 增长至 63 kg,高于世界平均水平 32%,但其人均消费量却低于欧美等发达国家水平^[6]。包括更多酚类、蛋白质、矿物质和维生素含量的马铃薯全粉相关产品加工与消费必然会随着健康中国和马铃薯主食化战略的全面推进,大众健康理念的普及深化而呈现持续高速发展趋势。

挂面具有快捷性、方便性和营养性,深受消费者喜爱。在挂面中加入马铃薯全粉,是提升挂面营养保健价值的有力途径。但由于马铃薯全粉中 70% 以上是淀粉,缺乏面筋蛋白,混入面粉后,面团黏弹性降低,易导致挂面成型困难、断条率高、面汤浑浊、蒸煮损失率大等问题。

大豆分离蛋白质必需氨基酸含量丰富,属于优质蛋白质,且具有优良乳化性、起泡性等功能特性,在小麦粉中添加大豆分离蛋白后,其蛋白质含量和湿面筋含量可显著提高^[7],从而改善挂面品质。瓜尔豆胶是一种具有显著增稠效果的亲水性质的功能性胶体,可增加挂面韧性^[8]。谷氨酰胺转氨酶可通过转酰胺基作用改变蛋白质功能性质,可使面团面筋网络结构经共价交联增强^[9]。张云亮等^[10]研究发现在添加 30% 马铃薯全粉情况下,食盐、谷朊粉(2.8%)、黄原胶和谷氨酰胺转氨酶均能提升挂面蒸煮特性和质构特性。公艳等^[11]研究了 31% 马铃薯全粉添加后,再加入 9% 豆腐柴汁液能显著提升挂面感官品质。杨健等^[12]采用魔芋精粉、谷朊粉(2.8%)和聚丙烯酸钠提高 33% 马铃薯添加下的挂面品质。Ojukwu 等^[13]将大豆分离蛋白和谷氨酰胺转移酶共同应用于米粉,并认为混合物更能改善米粉质构、机械特性、感官品质和微观结构,减少空洞。

尽管已有关于大豆分离蛋白、谷氨酰胺酶和瓜尔豆胶对面制品的改善研究,但对三者的效果比较和

复配研究较少。由于添加剂种类、数量和配比及干燥对挂面品质影响较大,本文通过单因素分析三种添加剂对 38% 马铃薯挂面品质的影响,并通过正交设计和熵权法优化配方及其干燥温度,以期为生产高含量高品质马铃薯挂面提供一定的配方和工艺参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

高筋小麦粉 新乡市禾人农业发展有限公司;大豆分离蛋白 山东万得副生物科技有限公司;瓜尔豆胶 广饶六合化工有限公司;谷氨酰胺转氨酶 120 U/g,山东元泰生物工程有限公司;食用盐 四川自贡驰宇盐品有限公司。

SD150 挂面机 浙江俊媳妇厨具有限公司;K-F0032 型电子秤 浙江金华凯丰集团有限公司;FA1104N 电子天平 上海皆准仪器设备有限公司;BZG-140 电热恒温干燥箱 上海博讯医疗生物仪器股份有限公司;TMS-PRO 高精度专业食品物性分析仪 美国 FCT 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 挂面加工工艺 工艺流程见图 1。根据前期实验和相关研究结果^[8-9],本试验以 200 g 高筋小麦粉为基准,马铃薯全粉 38%、食盐 1.5%、水 42% 和一定改良剂,充分搅拌成面絮,再揉成面团,25 ℃ 下醒发 30 min,用压面机压至光滑,制得厚度为 1 mm,宽度 4 mm 单因素的挂面,自然晾干后切成长度为 20 cm 的挂面成品。

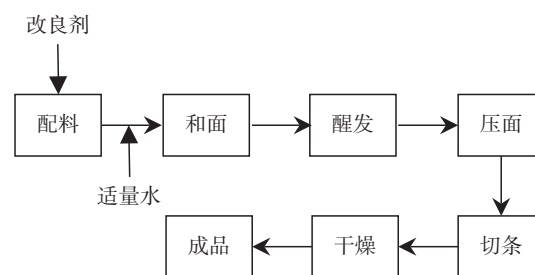


图 1 挂面加工工艺流程图

Fig.1 Schematic diagram of dry noodle processing process

1.2.2 配方单因素实验 以 200 g 小麦粉为基准,马铃薯全粉 38%,食盐 1.5%,水 42% 为基础配料,研究大豆分离蛋白(0、2%、4%、6%、8%、10%),瓜尔豆胶(0、0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%)和谷氨酰胺转氨酶(0、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%)对挂面感官评分、蒸煮损失率、熟断条率、最佳蒸煮时间、吸水率的影响。

1.2.3 配方正交试验设计 在单因素试验结果基础

上,以感官评分、蒸煮损失率和熵权综合评分为主要指标,将大豆分离蛋白、瓜尔豆胶、谷氨酰胺转氨酶三种改良剂采用3因素3水平正交设计试验进一步优化配方。其因素水平表见表1。

表1 正交试验因素水平设计

Table 1 Factors and levels for orthogonal design experiment

水平	因素		
	大豆分离蛋白添加量 (A, %)	瓜尔胶添加量 (B, %)	谷氨酰胺转氨酶添加量 (C, %)
1	4.0	0.9	1.0
2	6.0	1.2	1.5
3	8.0	1.5	2.0

1.2.4 干燥温度对马铃薯全粉挂面品质的影响 确定最佳改良剂配方后,按照挂面加工工艺流程制作出成品,再进行干燥,干燥温度分别为40、50、60、70、80、90℃,保证烘干后的挂面水分含量在12%左右,对不同烘干温度下挂面的蒸煮特性、感官评价、质构特性等主要指标进行三次重复测定,综合分析后选出挂面品质较好时的烘干温度。

1.2.5 挂面品质分析测定 最佳烹调时间、蒸煮损失率和熟断条率参照标准LS/T3212—2014《挂面》测定方法^[14]。对最佳烹调时间测定略有改动,先随机抽取40根挂面,放入保持水微沸的锅中进行计时,在3min后开始取样,后面每隔5s取样一次,记录取样的具体时间,直到挂面中间白线消失为止;吸水率参考Kang等^[15]方法测定;质构特性测定时将挂面煮至最佳蒸煮时间后捞出过凉水,用滤纸将挂面表面的水分吸干后,取六根叠加平稳地放在质构仪的载物台上测试,程序TPA,探头R36,检测速度60mm/min,触发力0.038N,测定5次次取平均值;水分测定参照标准GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》直接干燥法^[16];组织10位已进行过感官评价培训的食品专业学生作为感官评定人员,取若干挂面放入微沸水中按照最佳时间煮熟,根据评分标准表2进行感官评分^[17]。

1.2.6 熵权法分析正交设计试验和干燥温度对挂面综合品质 正交试验采用感官评分和蒸煮损失率综合分析优选各因素水平,再采用蒸煮损失率、感官评分、硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性六个评价指标综合

优选干燥温度。参考文献[18–19],首先选用极值法对不同量纲数据进行标准化,再计算熵值、评价指标熵权和综合得分,主要计算公式如下:

a.数据标准化处理,让各组指标具有可比性,对m个处理组,n个评价指标中,数据越大质量越好的采用正向指标处理公式(1),反之采用负向指标处理公式(2)。

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})}{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}) - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})} \times 0.9 + 0.1 \quad \text{式(1)}$$

$$Z_{ij} = \frac{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}) - x_{ij}}{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}) - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})} \times 0.9 + 0.1 \quad \text{式(2)}$$

式中, x_{ij} 表示第 i ($i=1,2,\dots,n$) 个处理组的第 j ($j=1,2,\dots,m$) 项评价指标的原始数据, Z_{ij} 为相应标准化处理后数据。

b.计算各指标的信息熵值,如公式(3)。

$$H_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad p_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_{i=1}^m Z_{ij}} \quad \text{式(3)}$$

c.计算各评价指标的熵权,如公式(4)。

$$W_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^n 1 - H_j}$$

d.计算综合得分,如公式(5)。

$$Q_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} W_j$$

1.3 数据处理

运用Excel 2016进行数据记录和初步处理,IBM SPSS Statistics 25软件对数据进行方差分析,显著水平为 $P < 0.05$,除特殊说明外其余数据每组重复3次,取各处理平均值进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果分析

2.1.1 大豆分离蛋白对马铃薯挂面感官评分和蒸煮特性的影响 表3显示了大豆分离蛋白对马铃薯挂面感官评分、蒸煮损失率、熟断条率、最佳蒸煮时间

表2 感官评定评分标准

Table 2 Standard of sensory evaluation

项目	分值(分)	评分标准
色泽	10	挂面呈奶黄色,光亮为7.5~10分;亮度一般为5~7.4分;颜色发暗发灰,亮度差为1~4.9分
外观状态	10	挂面表面结构细密、光滑透亮为7.5~10分;处于中间态为5.0~7.4分;表面粗糙、膨胀、变形严重为1~4.9分
软硬度	20	用牙齿咬断一根挂面需要的力道,力道适中为16~20分;稍偏硬或偏软为11~15分;太硬或太软为1~10分
韧性	25	咀嚼挂面时,富有弹性有咬劲为20~25分;一般为14~19分;弹性不足,咬劲差或很硬为1~13分
粘性	25	咀嚼时不粘牙、爽口为20~25分;较爽口、稍粘牙为14~19分;发粘、不爽口为10~13分
光滑性	5	口感光滑为4.2~5分;光滑程度一般为2~4.1分;光滑程度差为1~1.9分
食味	5	品尝时具有小麦的清香味和马铃薯的香味4.2~5分;基本无异味为2~4.1分;有异味为1~1.9分

表 3 大豆分离蛋白对马铃薯挂面感官评分和蒸煮特性的影响

Table 3 Effects of soybean protein isolate on sensory score and cooking characteristics of potato noodles

大豆分离蛋白含量(%)	感官评分(分)	蒸煮损失率(%)	熟断条率(%)	最佳蒸煮时间(min)	吸水率(%)
0	62.30±1.45 ^d	33.38±0.98 ^a	47.50±2.50 ^a	3.17±0.06 ^c	145.00±1.73 ^d
2	74.93±1.66 ^c	18.46±0.41 ^c	14.17±1.44 ^b	5.50±0.10 ^b	155.67±1.24 ^b
4	76.50±1.47 ^c	15.55±0.44 ^d	0.83±1.44 ^d	5.14±0.11 ^b	163.67±2.51 ^a
6	81.93±0.91 ^a	15.25±0.21 ^d	0.00±0.00 ^d	5.35±0.09 ^b	154.67±2.09 ^b
8	79.13±0.68 ^b	16.20±1.51 ^d	1.67±1.44 ^d	5.57±0.09 ^b	153.66±1.15 ^{bc}
10	74.77±0.67 ^c	20.07±1.66 ^b	11.67±1.44 ^c	6.36±0.11 ^a	151.33±1.52 ^c

注: 同列数字肩注相同字母表示不显著($P>0.05$); 同列数字肩注不相同字母表示差异显著($P<0.05$); 表2~表3同。

和吸水率的影响规律。随着大豆分离蛋白质添加量的增加,感官评分和吸水率先增加后降低,蒸煮损失率和熟断条率先降低后增加,最佳蒸煮时间持续增加。与空白对照组相比,各大豆分离蛋白添加组挂面感官评分、蒸煮损失率、熟断条率、最佳蒸煮时间和吸水率差异均达到显著水平($P<0.05$)。在其添加量为 6% 时,挂面蒸煮损失率从空白组的 33.38% 降至 15.25%,降低了 54.31%,熟断条率降至 0%,感官评分最高,达到(81.93±0.91)分,添加量继续增加以后,蒸煮损失率、熟断条率又开始显著升高($P<0.05$),感官评分开始显著降低($P<0.05$)。Bainy 等^[20]认为在小麦粉中加入 7%~9% 的大豆分离蛋白,有助于提高蛋白质含量、营养价值,增加面筋含量,改善面团的流变学性质,提升挂面弹性和韧性,延长最佳蒸煮时间。大豆分离蛋白本身具有良好持水性,又可改善面筋网络结构,随着其添加量的增加,挂面网络结构增强,淀粉溶出降低,蒸煮损失率降低,但其含量进一步增加后,挂面可能无法形成最佳稳定的网络结构,导致吸水率降低和蒸煮损失升高。综合五个指标来看,选择 4%、6% 和 8% 作为正交试验水平。

2.1.2 瓜尔豆胶对马铃薯挂面感官评分和蒸煮特性的影响 表 4 显示了瓜尔豆胶对马铃薯挂面感官评

分和蒸煮特性的影响规律。随着瓜尔豆胶含量的增加,感官评分、蒸煮损失率、熟断条率和最佳蒸煮时间与大豆分离蛋白基本一致,吸水率逐渐降低。与空白对照组相比,各添加组挂面感官评分等 5 个指标均达到显著水平($P<0.05$)。魏林^[8]发现瓜尔豆胶添加量超过 7% 时,便对面条质量产生负面影响。蒸煮损失率随瓜尔豆胶添加量的增加先降低后升高,这可能与其溶胀吸水能力相关,瓜尔豆胶添加量的增多,增强了蛋白质和淀粉的水化结合能力,强化了面筋结构,同时增强淀粉颗粒之间疏水键,从而防止膨胀或破损淀粉溶出,但其添加量过高,又会减弱面筋网络结构的连续性和稳定性,导致蒸煮损失率又升高^[21]。陈前等^[22]将瓜尔豆胶应用于 35% 马铃薯-小麦混合粉后发现,瓜尔豆胶能改善混合粉面团硬度,面团黏弹性和拉伸性。综合来看,选择 0.9%、1.2% 和 1.5% 作为正交试验水平。

2.1.3 谷氨酰胺转氨酶对马铃薯挂面感官评分和蒸煮特性的影响 表 5 显示了谷氨酰胺转氨酶对马铃薯挂面感官评分和蒸煮特性的影响规律。随着谷氨酰胺转氨酶含量的增加,感官评分、最佳蒸煮时间和吸水率先升高后降低,蒸煮损失率和熟断条率先降低后升高。与空白对照组相比,各添加组挂面感官评分

表 4 瓜尔豆胶对马铃薯挂面感官评分和蒸煮特性的影响

Table 4 Effects of guar gum on sensory score and cooking characteristics of potato noodles

瓜尔豆胶含量(%)	感官评分(分)	蒸煮损失率(%)	熟断条率(%)	最佳蒸煮时间(min)	吸水率(%)
0	62.30±1.45 ^d	33.38±0.98 ^a	47.50±2.50 ^a	3.14±0.11 ^d	145.01±1.00 ^a
0.3	69.93±1.23 ^c	14.82±0.51 ^b	4.17±1.44 ^b	4.67±0.14 ^c	143.04±2.01 ^{ab}
0.6	70.50±0.98 ^c	14.18±0.82 ^b	0.00±0.00 ^d	5.43±0.12 ^b	142.00±1.00 ^b
0.9	80.70±1.22 ^a	9.76±1.03 ^d	2.50±2.50 ^{bc}	5.42±0.11 ^b	139.67±0.58 ^c
1.2	78.80±1.23 ^{ab}	9.44±1.48 ^d	0.83±1.44 ^{cd}	6.60±0.10 ^a	137.67±1.53 ^c
1.5	78.13±2.06 ^b	12.23±1.28 ^c	0.00±0.00 ^d	5.55±0.18 ^b	133.67±1.52 ^d

表 5 谷氨酰胺转氨酶对马铃薯挂面感官评分和蒸煮特性的影响

Table 5 Effects of glutamine aminotransferase on sensory score and cooking characteristics of potato noodles

谷氨酰胺转氨酶含量(%)	感官评分(分)	蒸煮损失率(%)	熟断条率(%)	最佳蒸煮时间(min)	吸水率(%)
0.0	62.30±1.45 ^c	33.38±0.98 ^a	47.50±2.51 ^a	3.23±0.13 ^d	145.00±2.64 ^d
0.5	68.07±0.42 ^d	9.90±1.01 ^d	18.50±3.77 ^b	3.50±0.00 ^c	154.67±1.52 ^c
1.0	73.13±0.91 ^c	11.63±0.58 ^c	6.67±2.89 ^c	4.12±0.03 ^b	163.33±2.08 ^b
1.5	77.16±1.32 ^b	9.85±0.16 ^d	1.67±1.44 ^d	4.33±0.14 ^a	170.67±2.51 ^a
2.0	79.47±0.61 ^a	13.44±0.76 ^b	0.83±1.44 ^d	4.21±0.10 ^{ab}	166.00±2.64 ^b
2.5	72.93±1.66 ^c	14.29±1.20 ^b	7.50±5.00 ^c	4.20±0.05 ^{ab}	155.67±2.52 ^c

等 5 个指标均达到显著水平($P<0.05$)。蒸煮损失率随谷氨酰胺转氨酶含量的增加,先降低后升高,可能是因为谷氨酰胺转氨酶先加速了蛋白质分子间或分子内赖氨酸异肽键和二硫键形成和蛋白质分子之间的聚集^[23],防止淀粉漏出,面汤浑浊度降低,蛋白质网络结构广泛形成,吸水锁水能力增强,因此挂面吸水率和蒸煮时间也呈现先升高趋势,挂面口感和软硬度适中。随着谷氨酰胺转氨酶的进一步增加,即超过 2% 以后,感官评分和吸水率又显著降低($P<0.05$),熟断条率又显著增加($P<0.05$)。综合来看,选择 1.0%、1.5% 和 2.0% 作为正交试验水平。

2.2 正交试验设计结果

蒸煮损失率与感官评价是衡量挂面品质的重要评判标准,两者正交试验结果的极差分析结果见表 6。影响蒸煮损失率的因素主次为 $A>C>B$,说明

表 6 正交试验设计及结果
Table 6 Design and results of orthogonal experiment

实验号	A	B	C	蒸煮损失率 (%)	感官评分 (分)	综合得分
1	1	1	1	10.13	78.23	0.0693
2	1	2	2	9.08	79.73	0.1192
3	1	3	3	8.40	76.90	0.0867
4	2	1	2	9.23	84.83	0.2028
5	2	2	3	9.45	80.30	0.1204
6	2	3	1	8.18	83.14	0.1983
7	3	1	3	9.30	79.30	0.1068
8	3	2	1	9.90	78.21	0.0743
9	3	3	2	10.88	76.52	0.0227
蒸煮损失率						
K ₁	27.61	28.66	28.21			
K ₂	26.86	28.43	29.19			
K ₃	30.08	27.46	27.15			
k ₁	9.20	9.55	9.40			
k ₂	8.95	9.48	9.73			
k ₃	10.03	9.15	9.05			
R	1.08	0.40	0.68			
优水平	A ₂	B ₃	C ₃			
感官评分						
K ₁	234.80	242.34	239.50			
K ₂	248.21	238.20	241.12			
K ₃	234.11	236.55	236.56			
k ₁	78.27	80.77	79.83			
k ₂	82.73	79.40	80.33			
k ₃	78.76	78.83	78.33			
R	4.73	1.93	1.53			
优水平	A ₂	B ₁	C ₂			
综合得分						
K ₁	0.2761	0.3856	0.3341			
K ₂	0.5182	0.3173	0.3561			
K ₃	0.2057	0.2971	0.3148			
k ₁	0.0920	0.1285	0.1113			
k ₂	0.1727	0.1058	0.1187			
k ₃	0.0686	0.0873	0.1049			
R	0.1041	0.0412	0.0138			
优水平	A ₂	B ₁	C ₂			

大豆分离蛋白对挂面蒸煮损失率的影响最大,配方 A₂B₃C₁ 组最小蒸煮损失为 8.18%,由 K 值得最佳理论配方为 A₂B₃C₃。影响挂面感官评分的因素主次为 $A>B>C$,也说明大豆分离蛋白对挂面感官评价的影响最大,配方为 A₂B₁C₂ 组最高,感官评价达到 84.83 分,由 K 值得出最佳理论配方为 A₂B₁C₂。

从表 6 可见,分别以感官评分或蒸煮损失率来进行极差分析得到两种结果,感官评分属于越高越好,蒸煮损失率越低越好,不同指标存在特有属性和数量级差异^[24],为使不同属性的指标在综合质量评价中发挥同向作用,消除量纲,分析更加客观,同时采用熵权法综合分析感官评分和蒸煮损失计算综合得分,该法主要依据实验观测指标提供信息量的大小来确定各个指标权重^[19],在 9 个评价方案中选择 2 个指标综合分析,筛选最优处理水平组合,同时对上述结果再次进行验证。根据公式(1)~公式(4)计算出感官评分和蒸煮损失率权重分别为 0.6272 和 0.3728,再根据公式(5)得出各实验组综合得分,如表 6 所示。可以看出最优水平组合为 A₂B₁C₂,与感官评分影响顺序和最优组合一致。综合选择最优配比为:大豆分离蛋白 6%、瓜尔豆胶 0.9%、谷氨酰胺转氨酶 1.5%。

2.3 干燥温度对马铃薯挂面品质的影响

挂面干燥是影响其质量的关键环节,整个挂面生产能耗的 60% 都在该环节。主干燥一般包含低温(35 ℃ 以下)、中温(40 ℃)和高温(80 ℃ 左右)三种温度。正确的干燥温度在快速蒸发水分的同时,提高能效和产品质量,其中高温干燥可以增加抗性淀粉含量,降低破损淀粉含量^[25]。表 7 显示了干燥温度对马铃薯挂面感官评分、蒸煮特性最佳蒸煮时间和吸水率的影响规律。随着干燥温度的升高,感官评分、硬度和弹性先升高后降低,60 ℃ 感官评分最高,60~70 ℃ 之间差异不显著($P>0.05$),但这两个温度条件下,感官评分显著高于其他温度($P<0.05$),70 ℃ 时硬度和弹性最高。蒸煮损失率先降低后升高,70 ℃ 时最低,显著低于其他各组($P<0.05$),最高最佳蒸煮时间一直呈上升趋势,吸水率总体升高,40~60 ℃ 之间差异不显著,90 ℃ 最高,显著高于其他各组($P<0.05$)。从大分子结构来看,挂面干燥过程涉及蛋白质脱水并包裹淀粉形成更大的蛋白质网络的不可逆过程^[26],随着温度升高,面筋蛋白二硫键形成和交联反应加速,面筋网络交联度增加,阻止蒸煮过程中淀粉颗粒进一步吸水糊化膨胀,从而降低蒸煮损失率,减小浑汤现象。但温度继续升高,可能又破坏其蛋白质聚集态网络结构,引起蒸煮损失率和面汤浊度升高。挂面的硬度与面筋蛋白的形成和淀粉分子有关,面筋蛋白的形成中有蛋白质分子的非共价作用^[27]。在干燥温度为 70 ℃ 时,挂面中的面筋蛋白结构与淀粉作用较强、筋力较好,所以硬度较大,当干燥温度过低或者过高时,挂面吸水膨胀,蛋白质和淀粉流失后,筋力不够,硬度下降^[28]。

表 7 干燥温度对马铃薯挂面感官评分、蒸煮和质构特性的影响

Table 7 Effects of drying temperature on sensory score, cooking characteristics and texture of potato noodles

温度(℃)	感官评分(分)	蒸煮损失率(%)	最佳蒸煮时间(min)	吸水率(%)	硬度(N)	弹性(mm)	咀嚼性(mJ)	综合得分
40	82.70±0.46 ^c	9.09±0.04 ^a	4.17±0.14 ^c	142.67±1.53 ^c	3.61±0.41 ^{bc}	1.80±0.06 ^{bc}	1.23±0.05 ^{bc}	0.1062
50	83.47±0.50 ^b	9.10±0.03 ^a	4.83±0.14 ^d	144.01±1.00 ^c	3.09±0.21 ^d	1.92±0.05 ^{ab}	2.27±0.07 ^c	0.1604
60	84.85±0.21 ^a	8.86±0.03 ^c	5.25±0.09 ^c	143.05±1.00 ^c	3.87±0.31 ^{ab}	1.94±0.02 ^{ab}	1.48±0.06 ^b	0.2248
70	84.67±0.40 ^a	8.79±0.03 ^d	5.58±0.14 ^b	140.33±1.52 ^d	4.29±0.11 ^a	2.00±0.04 ^a	1.27±0.12 ^d	0.2393
80	83.67±0.15 ^b	8.89±0.04 ^c	5.75±0.11 ^b	147.00±1.01 ^b	3.21±0.10 ^c	1.72±0.08 ^c	1.19±0.13 ^c	0.1464
90	83.60±0.26 ^b	8.98±0.04 ^b	6.00±0.11 ^a	150.67±1.11 ^a	3.39±0.23 ^c	1.64±0.03 ^c	0.95±0.04 ^a	0.1317

根据李叶贝^[29]的方法,将数值越小越好的指标蒸煮损失率在标准化后加上负号,其余定为正向指标。将感官评分、蒸煮损失率、吸水率、硬度、弹性和咀嚼性采用熵权法赋予各自权重,综合考虑挂面品质,分析最合适的干燥温度,根据公式(1)~公式(5)得到各指标权重分别为 0.134、0.193、0.158、0.198、0.143、0.183,各熵权再乘以各自比重得到表 7 的综合得分。从综合得分可以看出 70 ℃ 最好,此时挂面蒸煮损失率最低,感官评分最高。

3 结论

正交试验中得出 3 种改良剂影响马铃薯全粉挂面蒸煮损失率的因素主次顺序为:大豆分离蛋白>谷氨酰胺转氨酶>瓜尔豆胶,影响马铃薯全粉挂面感官评分的因素主次顺序为:大豆分离蛋白>瓜尔豆胶>谷氨酰胺转氨酶。以正交试验为基础,针对挂面的蒸煮损失率和感官评价综合得分得出最优配方:大豆分离蛋白 6%、瓜尔豆胶 0.9%、谷氨酰胺转氨酶 1.5%,此时挂面的感官评分最高、蒸煮损失率较小、综合得分最高。烘干温度为 40~70 ℃ 时,挂面的蒸煮损失率随着干燥温度的升高而呈下降趋势,挂面的硬度、弹性随着干燥温度的升高而升高,70~90 ℃ 之间时,挂面的蒸煮损失率随着干燥温度的升高而呈上升趋势,同时挂面的硬度、弹性随着干燥温度升高而升高。综合得分发现干燥温度处于 70 ℃ 时,挂面品质最好。

参考文献

- [1] 唐峥. 农科院马铃薯团队: 我国马铃薯种植面积和总产量居世界首位[EB/OL]. [2022-08-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1739929452976657014&wfr=spider&for=pc>. [TANG Z. CAAS potato team: China's potato planting area and total production tops the world[EB/OL]. [2022-08-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1739929452976657014&wfr=spider&for=pc>.]
- [2] ZAHEER K, AKHTAR M H. Potato production, usage, and nutrition—A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, 56: 711–721.
- [3] ZHOU L, MU T H, MA M M, et al. Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making [J]. *Journal of Integrative Agriculture* 2019, 18(1): 231–24.
- [4] LIANG D, ZHANG L, CHEN H Z, et al. Potato resistant starch inhibits diet-induced obesity by modifying the composition of intestinal microbiota and their metabolites in obese mice[J]. *Internation*

- Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 180: 458–469.
- [5] GOURINENI V, STEWART M L, WILCOX M L, et al. Nutritional bar with potato-based resistant starch attenuated post-prandial glucose and insulin response in healthy adults[J]. *Foods*, 2020, 9 (11): 1–11.
- [6] 罗其友, 伦闰琪, 高明杰, 等. 2021–2025 年我国马铃薯产业高质量发展战略路径[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(3): 37–45.
- [7] LUO Q Y, LUN R Q, GAO M J, et al. Strategy path of high-quality development of potato industry in China during from 2021 to 2025 [J]. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(3): 37–45.
- [7] 熊拯, 郭兴凤, 石晶. 大豆分离蛋白的提取及其在面制品中的应用[J]. *粮油食品科技*, 2006(6): 59–61. [XIONG Z, GUO X F, SHI J. The extraction of soybean protein isolated and its applications in flour products[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2006(6): 59–61.]
- [8] 魏林. 瓜尔豆胶对面条品质特性的影响[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(9): 60–62, 72. [WEI L. The extraction of soybean protein isolated and its applications in flour products[J]. *Cereals & Oils*, 2021, 34(9): 60–62, 72.]
- [9] 周中凯, 邢同浩, 孔宇. 谷氨酰胺转氨酶在面筋和非面筋制品中应用[J]. *粮食与油脂*, 2013, 26(2): 9–11. [ZHOU Z K, XING T H, KONG Y. Applications of transglutaminase in gluten and non-gluten products[J]. *Cereals & Oils*, 2013, 26(2): 9–11.]
- [10] 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 co-efficient of variation method[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(5): 26–32.]
- [11] 公艳, 熊双丽, 彭凌, 等. 响应面-主成分分析法优化马铃薯挂面工艺[J]. *食品工业科技*, 2017(23): 143–150. [GONG Y, XIONG S L, PENG L, et al. Optimization of potato noodles technology by response surface methodology and principal component analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017(23): 143–150.]
- [12] 杨健, 康建平, 张星灿, 等. 高含量马铃薯全粉挂面品质改良剂的研究[J]. *粮油食品科技*, 2019, 27(5): 14–20. [YANG J, KANG J P, ZHANG X C, et al. Study on quality improver of high content potato dried noodles[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2019, 27(5): 14–20.]
- [13] OJUKWU M, OFOEDU C, SEOW E K, et al. Optimization of soy protein isolate, microbial transglutaminase and glucono-δ-lactone in gluten-free rice noodles[J]. *Journal of the science of food and agriculture*, 2021, 101(9): 3732–3741.
- [14] 国家粮食局. LS/T 3212–2014 挂面[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. [State Administration of Grain. LS/T 3212–2014 Dried noodle[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.]

- [15] KANG M J, CHUNG S J, KIM S S. The effects of transglutaminase and refrigerated storage on the physicochemical properties of whole wheat dough and noodles[J]. *Foods*, 2021, 10: 1–18.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.3-2016 National Food Safety Standard. Determination of moisture in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [17] 张旭. 马铃薯全粉面条研制[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019. [ZHANG X. Development of potato granule noodles[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2019.]
- [18] 段禄峰, 唐文文. 基于熵权法的西部地区农村电子商务发展水平分析[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(9): 292–295. [DUAN L F, TANG W W. Analysis of the development level of rural e-commerce in western region based on entropy method[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(9): 292–295.]
- [19] 孙步忠, 范恒, 黄士娟, 等. 基于趋优融合灰色熵权法的生态经济综合指数动态评价——以江西省为例[J]. *生态经济*, 2017, 33(12): 77–82. [FAN B Z, FAN H, HUANG S J, et al. Dynamic evaluation of comprehensive eco-economic index based on convergent fusion grey entropy weight method-Jiangxi Province as an example[J]. *Ecological Economy*, 2017, 33(12): 77–82.]
- [20] BAINY E M, CORREDIG M, POYSA V, et al. Assessment of the effects of soy protein isolates with different protein compositions on gluten thermosetting gelation[J]. *Food Research International*, 2010, 43(6): 1684–1691.
- [21] LI X Y, HU H H, XU F, et al. Effects of aleuronerich fraction on the hydration and rheological properties attributes of wheat dough[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2019, 54(5): 1777–1786.
- [22] 陈前, 李娜, 贺晓光, 等. 瓜尔豆胶对马铃薯-小麦混合粉面团质构和流变特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(6): 198–203. [CHEN Q, LI N, HE X G, et al. Effect of guar gum on texture and rheology property of potato-wheat dough[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(6): 198–203.]
- [23] 吴娜娜, 杨庭, 谭斌, 等. 谷氨酰胺转氨酶对挤压糙米粉面团蛋白特性和面条品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(7): 28–32. [WU N N, YANG T, TAN B, et al. Effect of TG on the protein properties of dough and quality of noodles prepared from extruded brown rice flour[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(7): 28–32.]
- [24] 王琼, 卢聪, 李法云, 等. 基于主成分分析和熵权法的河流生态环境质量评价方法——以清河为例[J]. *生态学报*, 2017, 36(4): 185–193. [WANG Q, LU C, LI F Y, et al. A method for evaluating river habitat quality based on principal component analysis and entropy weighting method: The case of Qinghe River[J]. *Ecological Economy*, 2017, 36(4): 185–193.]
- [25] 何瑾璇, 刘翀. 干燥过程淀粉与蛋白质变化对挂面品质影响的研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(6): 10–13. [HE J X, LIU C. Research progress on the effects of starch and protein changes on the quality of dried noodles during the drying process[J]. *Cereals & Oils*, 2021, 34(6): 10–13.]
- [26] WANG Z, MA S, SUN B H, et al. Effects of thermal properties and behavior of wheat starch and gluten on their interaction: A review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 177: 474–484.]
- [27] 刘婧, 熊汉国. 正交优化马铃薯鱼面生产工艺研究[J]. *中国调味品*, 2018, 43(7): 95–98. [LIU J, XIONG H G. Study on the production technology of potato fish noodles with orthogonal optimization[J]. *China Condiment*, 2018, 43(7): 95–98.]
- [28] 郭颖. 不同烘干温度对挂面品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015. [GUO Y. The study of the effects of different drying temperatures[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015.]
- [29] 李叶贝, 任广跃, 屈展平, 等. 基于变异系数法对不同干燥方法马铃薯全粉复合面条品质的评价[J]. *食品科学*, 2020, 41(1): 48–54. [LI Y B, REN G Y, QU Z P, et al. Evaluating the quality of noodles incorporated with potato flour dried by different drying methods based on coefficient of variation[J]. *Food Chemistry*, 2020, 41(1): 48–54.]