

基于熵权法优化不同比例马铃薯全粉 面条基础配方

Optimization of basic formula of different proportions of potato
powder noodles based on entropy-right method

张旭 陈安均 蒋成 卢霞

ZHANG Xu CHEN An-jun JIANG Cheng LU Xia

(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

摘要:在熵权法对马铃薯全粉面条各项品质指标进行综合分析的基础上,采用正交试验优化出不同比例马铃薯全粉面条的基础配方。结果表明,在全粉比例为25%时,食盐0.6%,碱0.4%,水55%,和面时间7 min;全粉比例为30%时,食盐1.2%,碱0.4%,水60%,和面时间6 min;全粉比例35%时,食盐0.8%,碱0.6%,水65%,和面时间8 min;全粉比例为40%时,食盐0.8%,碱0.6%,水72.5%,和面时间5 min。在最优条件下,不同比例的全粉面条感官评分除40%外,均在80分以上,面条整体品质较好,其中全粉比例25%时所得面条品质优于其他3种添加比例。

关键词:马铃薯全粉面条;全粉比例;熵权法;基础配方

Abstract: In order to provide a practical foundation for the production of potato noodles, comprehensive analyses of the quality indexes of potato noodles using the entropy-right method were conducted, and the basic formula of different proportions of potato noodles were optimized, based on orthogonal experiments. The results showed that the optimized basic formula of noodles was 0.6% salt, 0.4% dietary alkali, 55% water and mixed for 7 min, when the potato flour was 25%. However, when the potato powder ratio was 30%, the optimized formula was 1.2% salt, 0.4% dietary alkali, 60% water and mixed for 6 min. When the potato powder ratio was 35%, that was 0.8% salt, 0.6% dietary alkali, 65% water and mixed for 8 min. When the potato powder ratio increased to 40%, the optimized formula should be 0.8% salt, 0.6% dietary alkali, 72.5% water and mixed for

5 min. The sensory scores of the potato noodles were higher than 80 in most groups except that with 40% of potato powder, and the overall quality of the noodles was good under these conditions. The noodles with 25% potato flour recorded the highest quality scores among those groups.

Keywords: potato noodles; potato flour content; entropy-right method; basic formula

马铃薯是一种粮食蔬菜兼用作物,具有较高的经济价值、药用价值和营养价值,且含有一般谷物粮食所缺乏的赖氨酸和色氨酸^[1-2]。但新鲜马铃薯耐贮藏性能差。同时运输困难、成本高,后续加工适应性差。较鲜薯而言,马铃薯全粉可长时间安全储存,方便集运,显著降低储运成本。食用方面它能更加方便地与其他主食混合搭配,实现食物原料间的营养互补^[3]。面条作为全球第二大制品^[4],同时也是中国传统主食,研究马铃薯全粉在主食面条中的应用,既符合中国的传统消费习惯,又有利于促进马铃薯的主粮化发展,同时还能提高面条的营养品质,增加杂粮面条的种类。

对面条的研究^[5]表明,随着全粉添加量的增加,面团中面筋被稀释,面条成型难、韧性差、易断条、易浑汤。同时,全粉—混合粉的吸水率显著提高,食盐、食用碱在面条中的添加量也受到影响。已有研究^[6-9]表明全粉添加量在10%~20%时才能保持面条的良好感官品质、蒸煮特性以及质构特性。但也有学者^[10]认为在不添加任何辅料的条件下,消费者对马铃薯全粉添加量的接受度可达40%。目前对高比例马铃薯全粉面条(全粉添加量>30%)的研究较少,主要是在加入谷朊粉、抗性淀粉、食用胶^[11-12]等改良剂的基础上进行的研究,试验主要针对不同全粉比例,对面条的基础配方进行优化研究,在实际生产中应用性更广。在曾著莉^[13]、张笑笑等^[14]的研究中其

基金项目:四川省科技计划项目(编号:2017NZ0019)

作者简介:张旭,女,四川农业大学在读硕士研究生。

通信作者:陈安均(1970—),男,四川农业大学副教授,博士。

E-mail: anjunc003@163.com

收稿日期:2018-11-22

全粉的添加量超过 40%，但研究对象为马铃薯湿全粉，其含水量远高于马铃薯干全粉（<10%），相对于干全粉的实际添加量低于 30%，且湿全粉在贮藏运输等方面有很大的限制。马铃薯主粮化要求尽可能地提高马铃薯全粉在面条中的添加量，因此试验将马铃薯全粉的添加量设定为 25%，30%，35%，40%，研究马铃薯全粉添加量对面条品质的影响。面条的评定指标涵盖较广，包括面条的蒸煮特性、质构特性、感官特性、微观结构等，这些指标均能够反映面条的品质特性。但在关于马铃薯全粉面条的研究中，研究者^[15-16]大多选择一个或者几个指标对面条的品质进行单一的评价，缺乏综合的分析，降低了试验结果的可靠性和准确性。对面条的指标进行科学的处理，才能更加准确的反映面条的品质特性，得出更为可靠的结论。本试验拟利用熵权法计算出马铃薯面条各指标的权重，以各指标的综合评分对面条的品质进行评价，得出不同全粉比例下马铃薯全粉面条的最优配方，以期为高比例马铃薯全粉面条的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

马铃薯：陇薯 7 号，甘肃一航薯业科技发展有限责任公司，选取外表完好，大小均匀，无任何机械损伤的马铃薯；

五得利五星特精高筋小麦粉、食盐：市售；
食用碱：成都市科龙化工试剂厂。

1.1.2 主要仪器设备

物性分析仪：TA.XTPlus 型，英国 Stabie Micro System 公司；

色差仪：NR10QC 型，深圳市三恩时科技有限公司；
电热鼓风干箱：DHG-9070A 型，上海一恒科技有限公司；

全自动和面机：JYN-W22 型，九阳股份有限公司；
家用压面机：FKM180 型，俊媳妇股份有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 马铃薯全粉制备 将新鲜马铃薯洗净、去皮、切片、蒸熟、冷却，置于一 20℃ 的冰柜中冷冻 24 h 解冻，在 2 300 r/min 离心 7 min，平铺于托盘中，75℃ 烘干后粉碎，过 100 目筛备用。

1.2.2 马铃薯全粉面条的制作 取 100 mL 自来水溶解一定比例食盐和食用碱用于泡发马铃薯全粉，将泡发后将全粉与面粉混合、和面、压片，最终得到厚度约为 1.0 mm，宽度为 3 mm 的面条。在 35℃ 干燥 4 h 备用。

1.2.3 马铃薯全粉面条基础配方优化 为确定不同比例全粉添加量下马铃薯面条的最优基础配方，在马铃薯全粉面条基础配方优化的单因素试验基础上，以食盐添加

量、食用碱添加量、和面时间、加水量 4 个因素为考察对象，进行四因素三水平正交试验，通过对所得数据分析确定最优配方。马铃薯全粉—面粉混合粉的总量为 200 g，不同比例马铃薯全粉面条正交试验因素水平表见表 1~4。

1.2.4 马铃薯全粉面条品质评价方法

（1）面条色泽测定：将烘干后的面条在高速粉碎机中粉碎 20 s，过 80 目筛，装入透明的自封袋中，用色差仪进行测定。色泽采用 CIE-L* a* b* 色空间表示方法，得 L*、a* 和 b* 3 个参数。

表 1 全粉比例 25%正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment when the potato powder ratio was 25%

水平	A 食盐添加量/%	B 食用碱添加量/%	C 和面时间/min	D 加水量/mL
1	0.4	0.2	5	100
2	0.6	0.4	6	105
3	0.8	0.6	7	110

表 2 全粉比例 30%正交试验因素水平表

Table 2 Factors and levels of orthogonal experiment when the potato powder ratio was 30%

水平	A 食盐添加量/%	B 食用碱添加量/%	C 和面时间/min	D 加水量/mL
1	0.8	0.2	6	120
2	1.0	0.4	7	125
3	1.2	0.6	8	130

表 3 全粉比例 35%正交试验因素水平表

Table 3 Factors and levels of orthogonal experiment when the potato powder ratio was 35%

水平	A 食盐添加量/%	B 食用碱添加量/%	C 和面时间/min	D 加水量/mL
1	0.6	0.2	6	130
2	0.8	0.4	7	135
3	1.0	0.6	8	140

表 4 全粉比例 40%正交试验因素水平表

Table 4 Factors and levels of orthogonal experiment when the potato powder ratio was 40%

水平	A 食盐添加量/%	B 食用碱添加量/%	C 和面时间/min	D 加水量/mL
1	0.4	0.2	5	145
2	0.6	0.4	6	150
3	0.8	0.6	7	155

(2) 面条水分测定:参照 1.2.4(1)的方法处理面条备用。取 3 g 试样(精确至 0.000 1 g),做 3 次平行。其他参照 GB 5009.3—2016 中直接干燥法。

(3) 面条厚度测定:取完整面条,每根面条选取 3 个不同的位点,用螺旋测微器测量其厚度。每组选 3 根面条,做 3 次平行。

(4) 最佳蒸煮时间测定:取 1 000 mL 蒸馏水,用电磁炉加热煮沸,设置温度 1 500 W,取长度为 15 cm 的面条 15 根煮制 3 min 后,每隔 10 s 捞 1 根,用载玻片挤压面条,观察面条中白芯是否消失,白芯刚好消失的时间为最佳蒸煮时间。

(5) 蒸煮损失率测定:参照徐芬^[17]的方法略有改动,将样品称取量由约 10 g 改为约 20 g,煮制面条由电炉更换为电磁炉,煮面温度 1 500 W。

(6) 面汤浊度测定:按测定蒸煮损失率的方法煮制面条,面汤过 100 目筛。利用紫外分光光度计在 675 nm 下测定面汤吸光值,即为面汤浊度。

(7) 面条质构特性测定:参照 Jridi 等^[18]、Mudgil 等^[19]的方法略有改动。将面条煮至最佳蒸煮时间后立即捞出,放入 0 ℃ 蒸馏水中浸泡 30 s,沥干表面水分。立即用物性测试仪进行测定,测定试验在 5 min 内完成,每个样品进行 12 次重复试验,去掉异常数据后,选取 6 组数据取平均值。

(8) 面条拉伸性能测定:探头为 A/SPR,测前速率 1.0 mm/s,返回速率 10 mm/s,测试速率 3 mm/s。拉伸距离 100 mm,数据采集率 200 p/s。两探头起始间距 15 mm,触发值 5 g。记录面条被拉断时的最大拉伸力和拉伸距离,分别除以面条厚度得到最终数据。

(9) 面条 TPA 模式测定:评价面条硬度、黏性、弹性、黏聚性、咀嚼性、回复性。把 5 根煮后面条无空隙并排放置于测定平台上进行测定。探头 ALKB-F 测前、测中、测后速率均 2.0 mm/s。压缩程度 75%,两次压缩停留间隔 10 s,数据采集速率 200 p/s。触发值 10 g。

(10) 面条感官评定:由四川农业大学食品学院 10 名具有专业知识并经过感官培训的人员,对面条进行感官评定。感官人员的培训感官评分标准见表 5。

1.3 分析方法——熵权法

(1) 数据标准化:假设给定了 K 个指标 $X_1, X_2, \dots, X_K$,其中 $X_i = \{x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}\}$ 。假设对各指标数据标准化后的值为 $Y_1, Y_2, \dots, Y_K$,那么 $Y_{ij} = (X_{ij} - \min X_i) \div (\max X_i - \min X_i)$ 。

(2) 求各指标的信息熵 E_j : $E_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$ 。其中 $p_{ij} = Y_{ij} \div \sum_{i=1}^n Y_{ij}$,如果 $p_{ij} = 0$,则定义 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

(3) 确定各指标权重 W_i : $W_i = (1 - E_i) \div (k - \sum E_i) (i = 1, 2, \dots, k)$ 。

表 5 马铃薯面条感官评定标准

Table 5 Sensory evaluation standard of potato noodles			
项目	满分	评分标准	得分
表现状态	10	面条表面结构细密、光滑透亮	8.5~10.0
		面条表面光滑,略微膨胀	6.0~8.4
		表面粗糙、膨胀、变形严重	1.0~6.0
软硬度 (适口性)	20	用牙齿咬断一根面条所需要的力道适中	17~20
		稍偏硬或软	12~17
		太软或太硬	1~12
色泽	10	面条白里透亮	8.5~10.0
		亮度一般	6.0~8.4
		颜色发灰、发暗、亮度差	1.0~6.0
粘性	25	面条在咀嚼时不粘牙、爽口	21~25
		较爽口、稍粘牙	15~21
		粘牙、不爽口	10~15
韧性	25	面条在咀嚼时富有弹性有咬劲	21~25
		弹性、咬劲一般	15~21
		弹性不足、咬劲差或很硬为	1~15
光滑性	5	面条口感光滑细腻	4.3~5.0
		光滑程度一般	3.0~4.3
		光滑程度差,咀嚼时有粗糙感	1.0~3.0
食味	5	具有麦清香味和马铃薯香味	4.3~5.0
		基本无异味	3.0~4.3
		有异味	1.0~3.0

1.4 数据处理

用软件 IBM SPSS Statistics 19 进行显著性分析,用 Microsoft Excel 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 正交试验

利用熵权法^[20-21]对 4 组正交试验所得的数据进行分析,得到马铃薯全粉面条各项指标权重,从而得出各指标的综合评分,用以确定不同比例马铃薯全粉面条的最优基础配方。

由表 7 可知,在马铃薯全粉面条的评价指标中,黏度指标所占的权重最大,是权重占比最小的抗拉强度 10 倍左右,可能是在 4 组正交试验中,全粉添加量的不同对面条的黏度产生的影响较大,导致面条黏度的相对变动范围较大,所得权重大于其他指标。

不同试验组所有指标的总分,用于正交试验结果分析。全粉添加量为 25%,30%,35%,40%时,正交试验结果分析见表 8。

由表 8 可知,在全粉添加量为 25%时,对马铃薯全粉面条品质产生影响的主次因素依次为食盐添加量、加水

量、和面时间、碱添加量。面条的最优基础配方为 $A_2B_2C_3D_3$, 即食盐添加量 0.6%, 碱添加量 0.4%, 和面时间 7 min, 加水量 55%。

在全粉添加量为 30% 时, 对马铃薯全粉面条品质产生影响的主次因素依次为食盐添加量、碱添加量、和面时间、加水量。面条的最优基础配方为 $A_3B_2C_1D_1$, 即食盐添加

量 1.2%, 碱添加量 0.4%, 和面时间 6 min, 加水量 60%。

在全粉添加量为 35% 时, 对马铃薯全粉面条品质产生影响的主要因素为食盐添加量, 其次是碱的添加量, 其他因素对面条品质的影响均较小。面条的最优基础配方为 $A_2B_3C_3D_1$, 即食盐添加量 0.8%, 碱添加量 0.6%, 和面时间 8 min, 加水量 65%。

表 6 不同比例马铃薯全粉面条正交试验结果

Table 6 Orthogonal experiment results of different proportions of potato noodles

全粉比例	试验号	蒸煮损失/%	面汤浊度/%	色差 L^*	色差 a^*	色差 b^*	抗拉强度	拉伸距离
25%	1	7.755±0.328	0.117±0.001	87.75±15.00	-0.89±0.06	6.81±0.21	42.63±0.73	-30.62±0.90
	2	8.591±0.496	0.208±0.002	87.00±0.28	-0.94±0.09	7.68±0.30	44.02±1.15	-36.66±1.62
	3	9.150±0.765	0.215±0.002	86.95±0.47	-0.97±0.16	8.29±0.23	45.08±1.36	-31.06±1.13
	4	8.704±0.164	0.182±0.001	88.33±0.09	-0.81±0.08	6.20±0.08	40.51±1.43	-38.56±2.54
	5	8.580±0.286	0.174±0.001	87.16±0.22	-0.95±0.04	7.56±0.17	47.33±1.78	-34.95±2.37
	6	7.532±0.165	0.166±0.001	86.34±0.53	-1.13±0.05	8.45±0.28	43.10±1.21	-39.51±2.42
	7	7.148±0.286	0.128±0.001	88.03±0.08	-0.94±0.02	6.96±0.07	45.27±1.47	-33.46±3.15
	8	6.729±0.434	0.094±0.002	86.75±0.32	-0.99±0.06	7.57±0.10	42.50±1.19	-40.42±2.60
	9	6.400±0.165	0.120±0.002	86.65±0.23	-1.20±0.02	8.99±0.03	43.98±1.52	-34.03±3.24
30%	1	8.795±0.000	0.189±0.001	87.28±0.19	-0.83±0.11	7.26±0.14	42.21±1.17	-34.91±4.01
	2	7.754±0.164	0.159±0.001	86.14±0.17	-0.79±0.04	7.61±0.13	41.31±1.36	-24.56±5.38
	3	7.188±0.328	0.133±0.001	85.56±0.49	-0.97±0.10	8.54±0.43	50.69±1.35	-39.72±1.62
	4	8.029±0.433	0.146±0.002	86.46±0.16	-0.84±0.13	7.92±0.15	39.32±1.65	-33.06±2.98
	5	8.467±0.489	0.163±0.001	86.16±0.15	-0.94±0.08	7.80±0.10	44.88±2.02	-33.56±4.53
	6	7.953±0.284	0.172±0.001	85.80±0.42	-0.92±0.03	8.47±0.28	45.22±1.36	-39.67±3.43
	7	9.160±0.164	0.143±0.001	86.79±0.37	-0.78±0.15	6.97±0.06	39.17±1.75	-30.72±8.18
	8	7.624±0.000	0.131±0.001	86.25±0.36	-0.95±0.08	7.65±0.33	26.89±0.54	-21.43±0.87
	9	8.909±0.162	0.205±0.001	85.96±0.19	-1.02±0.02	8.46±0.08	40.13±0.80	-26.87±2.43
35%	1	7.311±0.593	0.155±0.003	85.84±0.17	-1.07±0.08	6.31±0.10	40.82±2.17	-30.67±2.98
	2	6.203±0.331	0.108±0.003	85.53±0.14	-0.84±0.13	6.92±0.11	52.52±1.01	-34.75±1.76
	3	6.279±0.285	0.113±0.001	84.72±0.16	-0.94±0.08	8.74±0.04	44.68±1.32	-35.68±1.96
	4	8.721±0.592	0.152±0.000	86.28±0.11	-0.93±0.05	7.93±0.13	38.90±1.05	-32.12±2.02
	5	6.651±0.435	0.129±0.000	85.46±0.19	-0.74±0.09	7.38±0.12	43.02±1.56	-33.02±2.59
	6	7.335±0.437	0.149±0.001	85.56±0.43	-0.77±0.01	8.30±0.38	42.30±1.26	-26.70±3.50
	7	7.113±0.285	0.111±0.002	87.27±0.06	-0.70±0.07	6.83±0.05	38.01±1.98	-31.70±2.62
	8	7.127±0.000	0.085±0.002	85.66±0.11	-0.80±0.08	7.55±0.14	47.32±1.62	-28.45±1.90
	9	7.338±0.437	0.108±0.001	85.04±0.27	-0.86±0.11	9.08±0.20	46.37±1.06	-36.09±2.37
40%	1	12.019±0.164	0.250±0.001	84.68±0.23	-0.85±0.02	9.14±0.09	25.06±1.80	-21.49±3.15
	2	10.069±0.163	0.149±0.001	83.10±0.09	-0.88±0.07	9.26±0.09	36.75±1.85	-38.18±3.43
	3	8.597±0.164	0.108±0.001	82.74±0.19	-0.97±0.12	10.10±0.27	31.97±1.67	-31.44±2.65
	4	11.578±0.435	0.200±0.001	84.34±0.52	-0.78±0.05	8.96±0.31	27.84±1.03	-27.45±2.08
	5	9.700±0.163	0.129±0.001	83.30±0.20	-0.83±0.14	9.22±0.20	35.24±1.46	-33.97±3.29
	6	8.793±0.284	0.169±0.001	83.28±0.26	-0.94±0.03	10.01±0.27	37.44±1.67	-34.25±3.81
	7	9.392±0.163	0.155±0.001	85.41±0.19	-0.75±0.02	8.27±0.36	31.04±1.38	-30.28±3.99
	8	8.340±0.162	0.144±0.001	83.83±0.56	-0.84±0.10	8.76±0.50	34.48±1.64	-36.93±3.29
	9	9.212±0.163	0.190±0.001	83.43±0.45	-0.79±0.08	9.79±0.52	27.70±2.03	-29.15±2.29

续表 6

全粉比例	试验号	硬度/g	黏度/(g·s ⁻¹)	咀嚼性	回复性	弹性	凝聚性	感官评分
25%	1	870.58±8.33	-10.27±1.27	487.81±19.39	0.302±0.006	0.927±0.004	0.585±0.008	78.90±4.85
	2	895.64±16.16	-11.47±1.27	496.69±9.60	0.318±0.002	0.928±0.004	0.600±0.006	71.10±4.21
	3	922.49±16.42	-9.59±1.30	532.62±15.96	0.301±0.008	0.928±0.010	0.613±0.007	75.04±2.64
	4	917.95±14.61	-8.40±0.27	526.38±16.97	0.337±0.012	0.939±0.010	0.620±0.006	82.82±4.95
	5	988.90±10.01	-7.06±0.27	594.96±10.72	0.337±0.005	0.936±0.007	0.623±0.006	77.48±5.14
	6	929.82±43.47	-9.10±1.28	560.82±16.21	0.294±0.004	0.922±0.003	0.604±0.005	70.02±6.94
	7	934.06±25.83	-10.23±1.10	491.51±12.51	0.296±0.006	0.925±0.003	0.580±0.008	77.96±6.80
	8	910.54±23.02	-7.02±0.79	483.47±7.70	0.299±0.010	0.929±0.004	0.560±0.006	79.84±6.01
	9	929.90±14.61	-11.27±0.73	474.17±10.65	0.265±0.005	0.924±0.005	0.568±0.004	74.70±3.65
30%	1	823.10±6.97	-10.45±0.44	394.59±11.69	0.260±0.002	0.933±0.008	0.525±0.010	78.04±5.12
	2	878.77±15.09	-9.59±0.59	430.51±7.81	0.275±0.003	0.920±0.004	0.531±0.005	73.54±3.70
	3	928.77±21.83	-10.36±0.52	481.60±12.50	0.279±0.003	0.930±0.002	0.542±0.005	72.28±4.75
	4	842.17±18.36	-10.97±0.55	423.78±11.56	0.273±0.006	0.925±0.002	0.544±0.003	76.68±2.29
	5	859.66±1.95	-10.56±1.26	458.86±9.00	0.288±0.006	0.936±0.010	0.567±0.006	78.28±2.71
	6	944.32±16.21	-10.04±1.15	519.21±10.55	0.297±0.008	0.932±0.004	0.585±0.007	74.58±3.91
	7	876.82±11.27	-10.97±1.85	439.48±19.12	0.282±0.010	0.924±0.004	0.554±0.011	74.86±4.04
	8	1 001.63±36.39	-6.57±0.86	580.53±21.54	0.351±0.014	0.937±0.017	0.624±0.004	76.08±2.05
	9	999.90±16.82	-9.15±0.59	596.18±13.56	0.340±0.004	0.945±0.007	0.626±0.002	74.66±4.54
35%	1	729.62±8.90	-8.04±1.39	377.23±12.86	0.268±0.004	0.915±0.002	0.536±0.008	76.08±2.05
	2	941.19±27.93	-10.32±0.49	515.67±17.52	0.292±0.003	0.924±0.003	0.565±0.004	72.10±3.87
	3	897.56±26.57	-7.73±0.92	485.57±27.96	0.327±0.009	0.923±0.006	0.583±0.005	78.18±4.08
	4	841.11±17.38	-10.89±0.90	434.25±26.92	0.293±0.008	0.912±0.004	0.539±0.013	85.10±5.84
	5	1 049.27±45.45	-6.32±0.92	591.18±26.85	0.329±0.003	0.928±0.006	0.610±0.003	77.06±6.60
	6	939.46±13.17	-7.27±0.99	513.39±10.82	0.301±0.004	0.926±0.006	0.596±0.004	71.82±8.23
	7	836.76±13.01	-10.98±0.64	447.30±7.62	0.291±0.012	0.931±0.009	0.574±0.004	74.84±4.88
	8	980.53±43.65	-12.02±1.06	607.47±23.17	0.321±0.003	0.927±0.002	0.584±0.003	73.12±5.73
	9	874.67±31.62	-9.97±1.40	448.88±23.97	0.318±0.006	0.922±0.007	0.583±0.005	73.20±5.79
40%	1	728.36±25.31	-9.74±0.66	398.84±15.87	0.298±0.002	0.938±0.006	0.591±0.005	68.48±7.68
	2	771.30±22.01	-7.81±0.70	449.53±17.14	0.308±0.009	0.945±0.005	0.604±0.006	75.62±4.22
	3	814.27±24.67	-5.17±0.28	475.30±14.04	0.307±0.010	0.961±0.018	0.596±0.010	76.46±7.27
	4	727.06±13.49	-8.84±1.04	369.74±7.01	0.281±0.004	0.930±0.005	0.549±0.008	76.34±6.02
	5	914.98±26.07	-7.50±0.80	517.79±19.28	0.313±0.007	0.944±0.008	0.595±0.005	69.58±4.39
	6	827.10±29.59	-5.41±0.44	484.59±19.12	0.331±0.004	0.974±0.021	0.618±0.003	77.60±4.41
	7	731.91±25.23	-7.21±0.60	395.26±15.69	0.315±0.004	0.935±0.008	0.589±0.007	74.50±4.01
	8	776.45±29.51	-6.09±0.52	467.28±19.30	0.344±0.012	0.976±0.019	0.619±0.005	80.38±4.05
	9	762.65±8.97	-6.78±0.73	458.45±18.08	0.327±0.008	0.975±0.019	0.620±0.004	73.46±7.77

表 7 马铃薯全粉面条各指标权重

Table 7 The weight of assessment indices of potato noodles

指标	蒸煮损失	面汤浊度	色差 <i>L</i> [*]	色差 <i>a</i> [*]	色差 <i>b</i> [*]	抗拉强度	拉伸距离
信息熵	0.950 92	0.934 55	0.930 72	0.961 72	0.962 59	0.984 78	0.949 31
权重	0.066 78	0.089 06	0.094 26	0.052 09	0.050 90	0.020 71	0.068 97
指标	硬度	黏度	咀嚼性	回复性	弹性	凝聚性	感官评分
信息熵	0.979 21	0.843 69	0.962 46	0.958 45	0.946 57	0.957 04	0.943 03
权重	0.028 29	0.212 67	0.051 07	0.056 53	0.072 70	0.058 45	0.077 52

表 8 不同比例马铃薯全粉面条正交试验结果分析
Table 8 Analysis of orthogonal experiment results of different proportions of potato noodles

试验号	A	B	C	D	总评分			
					25 %	30 %	35 %	40 %
1	1	1	1	1	0.457	0.427	0.366	0.348
2	1	2	2	2	0.442	0.440	0.298	0.471
3	1	3	3	3	0.583	0.349	0.440	0.533
4	2	1	2	3	0.654	0.363	0.423	0.360
5	2	2	3	1	0.689	0.460	0.584	0.466
6	2	3	1	2	0.440	0.451	0.552	0.681
7	3	1	3	2	0.440	0.415	0.359	0.479
8	3	2	1	3	0.476	0.649	0.380	0.661
9	3	3	2	1	0.304	0.613	0.405	0.589
25 %	K_1	1.481	1.550	1.373	1.449			
	K_2	1.783	1.607	1.399	1.321			
	K_3	1.220	1.326	1.711	1.713			
	R	0.188	0.093	0.113	0.130			
30 %	K_1	1.217	1.205	1.528	1.501			
	K_2	1.274	1.550	1.417	1.306			
	K_3	1.678	1.414	1.224	1.362			
	R	0.154	0.115	0.101	0.065			
35 %	K_1	1.104	1.147	1.298	1.354			
	K_2	1.559	1.263	1.126	1.209			
	K_3	1.144	1.397	1.382	1.243			
	R	0.152	0.083	0.085	0.048			
40 %	K_1	1.353	1.187	1.691	1.403			
	K_2	1.507	1.598	1.420	1.632			
	K_3	1.730	1.804	1.478	1.554			
	R	0.126	0.205	0.071	0.076			

在全粉添加量为 40 % 时,对马铃薯全粉面条品质产生影响的主次因素依次为碱添加量、食盐添加量、加水量、和面时间,其中加水量和和面时间对面条品质影响较小。面条的最优基础配方为 $A_2B_3C_1D_2$,即食盐添加量 0.8 %,碱添加量 0.6 %,和面时间 5 min,加水量 72.5 %。

食盐能够收敛面筋组织,增强湿面筋的弹性和延伸性,防止面条在干燥过程中因失水过快而断条弯曲,适量添加能够显著改善面条的品质,但过高的添加量会降低面团的弹性和延伸性,一般在食盐添加量 $>2\%$,面条就会偏咸,感官评分降低。在 4 种不同添加比例下,食盐总添加范围为 0.6 %~1.2 %。碱虽然也具有收敛面筋的作用,但在提高面团延伸性方面的作用比食盐差,对马铃薯面条色泽的改变有显著性影响,过量的碱会使面条的色泽变灰变暗,碱味过重,所以碱的添加量较低其范围在 0.4 %~0.6 %。加水量的多少对面条的成型会产生直接

影响,过低在压延过程中面条会产生很大损失,甚至无法成型,过高面条会出现粘辊现象。且与一般小麦面条不同,由于全粉含水量低、吸水率高,其添加对加水量影响显著,试验结果表明,在不同添加量下,全粉的添加量几乎与加水量呈正比关系,并且明显高于一般小麦面条 30 %~35 % 的加水量^[22],在 40 % 添加量下达到 72.5 %。和面的作用是为了使面团充分吸水,形成面筋组织,但搅拌时间过长,会使面团弱化,影响面团的弹性和韧性。不同添加量下和面时间的范围为 5~8 min。

2.2 最优基础配方验证实验

对以上所得的不同比例马铃薯全粉面条的基础配方进行验证实验,以面条的综合评分和感官评分对面条品质进行评价试验,结果见表 9。在不同比例下测得的面条的感官评分和综合评分均高于试验组,说明正交试验的最优组合正确,所得面条品质高于试验组。

表 9 不同比例马铃薯全粉面条验证实验结果
Table 9 Verification experiment results of different proportions of potato noodles ($n=3$)

全粉添加量/%	综合评分	感官评分
25	0.692 27±0.014 4	81.10±2.39
30	0.670 41±0.012 4	86.45±1.93
35	0.595 95±0.012 8	82.98±4.96
40	0.685 95±0.011 0	78.38±4.29

3 结论

由不同比例马铃薯全粉面条的最优配方可知,在不同的全粉添加量下,食盐、碱添加量、和面时间和加水量均有差异,尤其是加水量差异显著。因此针对不同的添加量进行基础配方优化是可行的、有必要的。此最优配方下,面条品质的总评分均高于试验组,面条感官评分除40%全粉添加量外,均在80分以上,面条总体品质达到最佳。与前人研究^[10]结果——消费者对全粉添加量可接受度为40%相一致。但全粉添加比例为40%时,面条的综合评分0.685 95略低于25%时的0.692 27,说明通过添加剂对面条品质进行改良之后,全粉添加量预计可达45%及以上。根据验证实验全粉添加量在25%时,面条的整体品质优于其他3种添加比例,因此在实际生产中全粉添加比例为25%最适。全粉添加量在30%时,面条的感官品质高于其他3种添加比例,可能是感官评价的主观性导致其结果与综合评分结果不一致,之后试验可通过模糊数学等感官评价方法使感观试验数据更科学有效,试验表明基于熵权法的正交试验能够更加全面地对面条的整体品质进行分析,得到较为可靠的结果。

参考文献

[1] BÁRTOVÁ V, BÁRTA J, BRABCOVÁ A, et al. Amino acid composition and nutritional value of four cultivated South American potato species[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 40: 78-85.

[2] GALDÓN B R, MESA D R, RODRÍGUEZ E M R, et al. Amino acid content in traditional potato cultivars from the Canary Islands [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(2): 148-153.

[3] 沈存宽. 马铃薯生全粉的制备及应用[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 2.

[4] FU Bin-xiao. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing[J]. Food Research International, 2008, 41(9): 88-902.

[5] 田鑫. 不同品种马铃薯全粉微观结构与品质特性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 8.

[6] 曾希珂, 章丽琳, 刘竟峰, 等. 马铃薯全粉添加量对小麦粉及其挂面品质特性的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(8):

163-166.

[7] 王乐, 黄峻榕, 张宁, 等. 马铃薯面条制作工艺及品质研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1): 78-82.

[8] 马栎, 宋斌, 李逸鹤. 马铃薯全粉在食品中的应用研究[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(6): 8-11.

[9] 魏园园, 万菲菲, 王娜, 等. 马铃薯全粉面条加工工艺的研究[J]. 农产品加工, 2016(23): 24-27.

[10] PU Hua-yin, WEI Jian-ling, WANG Le, et al. Effects of potato/wheat flours ratio on mixing properties of dough and quality of noodles[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 76: 236-242.

[11] 吴笛. 高比例马铃薯全粉面条制作工艺研究[J]. 食品工业, 2017, 38(6): 64-67.

[12] 刘丽宅. 马铃薯面条的研制与品质改良研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2017: 26-35.

[13] 曾著莉. 马铃薯添加量对面条品质及挥发性风味物质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017: 19-22.

[14] 张笑笑, 李瑜. 响应面法优化马铃薯泥面条工艺配方[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(3): 20-24.

[15] 杨纳. 马铃薯全粉面条加工和保鲜技术研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015: 18-29.

[16] 赵煜, 彭涛, 张小燕, 等. 马铃薯主食化面条新产品的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(7): 232-236, 242.

[17] 徐芬. 马铃薯全粉及其主要组分对面条品质影响机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016: 18.

[18] JRIDI M, ABDELHEDI O, SOUISSI N, et al. Improvement of the physicochemical, textural and sensory properties of meat sausage by edible cuttlefish gelatin addition[J]. Food Bioscience, 2015, 12: 67-72.

[19] MUDGIL D, BARAK S, KHATKAR B S. Optimization of textural properties of noodles with soluble fiber, dough mixing time and different water levels[J]. Journal of Cereal Science, 2016, 69: 104-110.

[20] 贾艳红, 赵军, 南忠仁, 等. 熵权法在草原生态安全评价研究中的应用: 以甘肃牧区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2007(1): 17-21.

[21] 史坤博, 王文瑞, 杨永春, 等. 基于熵权法的草原旅游点植被退化评价[J]. 干旱区研究, 2016, 33(4): 851-859.

[22] 任立焕. 马铃薯面条加工工艺的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2017: 6.