

南瓜粉添加量对鲜湿面品质特性影响

Effects of the addition of pumpkin powder on the quality characteristics of fresh noodles

谭玉珩^{1,2} 李良怡^{1,2} 马 妍^{1,2} 罗慕劼^{1,2} 胡 瀚^{1,2} 周文化^{1,2}

TAN Yu-heng^{1,2} LI Liang-yi^{1,2} MA Yan^{1,2} LUO Ao-jie^{1,2} HU Han^{1,2} ZHOU Wen-hua^{1,2}

(1. 特医食品加工湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410004;

2. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004)

(1. Hunan Key Laboratory of Processed Food for Special Medical Purpose, Changsha, Hunan 410004, China;

2. Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:目的:研究南瓜粉添加量对南瓜鲜湿面品质特性的影响。方法:对不同南瓜粉添加量鲜湿面的色泽、蒸煮特性、质构特性及感官评价得分进行测定,结合相关性分析及主成分分析方法进行综合评价。结果:随着南瓜粉添加量的上升,鲜湿面亮度下降、色泽从亮黄色转变为橙黄色;5%南瓜粉鲜湿面断条率、损失率最低,最佳煮煮时间最短为 202.36 s;南瓜粉添加量至 20%时硬度均高于小麦鲜湿面,5%南瓜粉鲜湿面的回复性、内聚性、弹性及咀嚼性均为最高,随着南瓜粉添加量的增加均有下降趋势;感官评价得分均高于小麦鲜湿面,15%南瓜粉鲜湿面得分最高。相关性分析结果表明南瓜粉鲜湿面的各项特性均有较强的相关性;主成分分析结果表明添加 5%南瓜粉鲜湿面综合得分最高。结论:适量添加南瓜粉能改善鲜湿面的品质特性,改良风味,且南瓜粉添加量 5%时效果最佳。

关键词:南瓜;鲜湿面;品质特性;相关性分析;主成分分析

Abstract: Objective: This study focuses on the effect of different additions of pumpkin powder on the quality characteristics of fresh pumpkin noodles. **Methods:** The color, cooking characteristics, texture characteristics and sensory evaluation scores of fresh noodles with different additions of pumpkin powder were determined, and the comprehensive evaluation was carried out by cor-

relation analysis and principal component analysis. **Results:** With the increase in the amount of pumpkin powder added, the brightness of the fresh noodles decreased and the color changed from bright yellow to orange yellow. The 5% pumpkin powder fresh noodles had the lowest breakage rate and loss rate, and the shortest best cooking time was 202.36 s. When the amount of pumpkin powder was added to 20%, the hardness has been found higher than that of wheat fresh noodles; the recovery, cohesion, elasticity and chewiness of 5% pumpkin powder fresh noodles were the highest; with the increase of pumpkin powder addition, all had a downward trend; sensory evaluation scores were higher than wheat fresh noodles, 15% pumpkin powder fresh noodles score was the highest. The results of correlation analysis showed that the characteristics of fresh noodles with high-quality pumpkin powder had a strong correlation; the results of principal component analysis showed that fresh noodles with 5% pumpkin powder had the highest comprehensive score. **Conclusion:** The quality and flavor of fresh noodles can be improved by adding pumpkin powder, and the optimum addition of pumpkin powder was 5%.

Keywords: pumpkin; fresh noodles; quality characteristics; correlation analysis; principal component analysis

基金项目:长沙市自然科学基金(编号:kq2014150)湖南省创新平台与人才计划(编号:2017TP1021);湖南省重点研发计划(编号:2020NK2020);湖南省创新型省份建设专项(编号:2019TP2011);长沙市科技计划(编号:KC17040007)

作者简介:谭玉珩,女,中南林业科技大学在读硕士研究生。

通信作者:周文化(1969—),男,中南林业科技大学教授,博士。

E-mail:zhouwenhua@126.com

收稿日期:2021-05-20

南瓜(*Cucurbita moschata*),葫芦南瓜属,别名番瓜、饭瓜。由于南瓜具有极高食用价值,且产量高、易保藏,已被广泛应用在食品加工中,包括南瓜饼干^[1]、南瓜馒头^[2]、南瓜发酵饮品^[3]等。顾熟琴等^[4-5]研究发现,适量添加抗坏血酸、柠檬酸能改善南瓜面条色泽,有一定的护色效果。高春娜等^[6]发现南瓜粉添加量对挂面的强度及感官影响最显著,其次是淀粉添加量和压面次数。薛淑静等^[7]发现在挂面中添加 4%南瓜粉较未添加南瓜粉的

挂面在色泽及风味均有明显改善,膳食纤维和 β -胡萝卜素含量均增加。孙粮等^[8]通过将南瓜粉、低蛋白粉与小麦粉混合制作成挂面,以达到改良其营养及风味的效果。

近年来,对南瓜面条类的研究均以干挂面为主,缺少对南瓜鲜湿面研制及品质特性的研究。鲜湿面条较挂面水分含量更高^[9],营养损失更少,口感更佳^[10]。试验拟对不同南瓜粉添加量的鲜湿面色泽、蒸煮特性、质构特性和感官评价4个方面的指标进行测定,并结合相关性分析及主成分分析方法,探究南瓜粉添加量对南瓜鲜湿面的品质特性影响,为扩充营养鲜湿面种类、改善南瓜鲜湿面口感及品质提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

南瓜:织金南瓜,贵州织金县农耀农业开发有限公司;

小麦粉:蛋白质含量18%,湖南凯雪有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

冷冻干燥机:SCIENTZ-10N型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

倾斜式高速万能粉碎机:FW-400A型,北京中兴伟业仪器有限公司;

电热恒温培养箱:DH-360型,北京中兴伟业仪器有限公司;

小型电动压面机:DHH-180A型,永康市海鸥电器有限公司;

台式真空包装机:DZ-260T型,深圳晟枫包装机械有限公司;

色差仪:UltraScan Pro型,美国HunterLab公司;

质构仪:TAXTPlus型,英国Stable Mirco System公司;

分析天平:FB223型,上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 南瓜粉的制备 将新鲜南瓜表面洗净,去皮去籽,切成厚度不超过1 cm的薄片,置于一18℃(南瓜共晶点为-12℃)冰箱预冻(不少于24 h)。预冻后的南瓜薄片放入冷冻干燥机中进行真空冷冻干燥(压强0.1 Pa,温度-50℃)。使用万能粉碎机将脱水南瓜块粉碎,过100目筛,真空包装,冷藏保存备用。

1.2.2 南瓜鲜湿面的制作 以100 g小麦—南瓜混合粉为基准,分别添加0%,5%,10%,15%,20%,25%,30%的南瓜粉,混合均匀;称取25 g纯净水缓缓加入混合好的面粉中,搅拌含有少量絮状面粉的面团,置于35℃电热恒温培养箱中醒发,40 min后取出用小型电动压面机反

复压碾压至3 mm左右的面片,切条厚度1 mm。将南瓜鲜湿面喷洒75%酒精溶液消毒,装入10 cm×10 cm的真空包装袋中,使用台式真空包装机进行真空包装。

1.2.3 南瓜鲜湿面色泽测定 将鲜湿面装入10 cm×10 cm的真空包装袋中,压平后,使用色差仪测定添加不同南瓜粉含量鲜湿面的 L^* 、 a^* 和 b^* 值。在同一样品的不同点重复测量8次,取平均值。

1.2.4 南瓜鲜湿面蒸煮特性测定

(1) 断条率:参照张梦潇等^[11]的方法。

(2) 干物质损失率:参照Krishnan等^[12]的方法并有所修改:分别称取适量不同南瓜粉添加量的鲜湿面记为 m_1 ,放入500 mL沸腾蒸馏水中煮5 min,将其捞出,待煮面水冷却至室温后,用蒸馏水定容至500 mL容量瓶中。室温下铝盒沉重记为 m_2 ,将定容后的煮面水摇匀,取50 mL置于铝盒中,在105℃的温度下干燥至恒重记为 m_3 。重复3次,取平均值。干物质损失率计算如式(1)。

$$C_L = \frac{10(m_3 - m_2)}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

C_L ——干物质损失率,%;

m_1 ——鲜湿面质量,g;

m_2 ——铝盒质量,g;

m_3 ——干燥至恒重后铝盒质量,g。

(3) 膨胀率:参照李勇等^[13]的方法。

(4) 最佳烹煮时间:将蒸馏水煮至沸腾,分别放入30根不同南瓜粉添加量鲜湿面,1 min后每10 s取一根面条,从中间切断观察其截面是否有白芯,直至白芯完全消失即为最佳烹煮时间。重复3次,取时间平均值。

(5) 南瓜鲜湿面质构特性:参照李立华^[14]的方法并有所修改:分别称取足量的不同南瓜粉添加量的鲜湿面放入沸水中至其完全熟透,冷水浸泡1 min,并用滤纸吸干表面水分。取5根熟透的南瓜鲜湿面平行紧贴放置在质构仪上,测定TPA。每组南瓜鲜湿面重复以上步骤测定6次,TPA参数取平均值。

1.2.5 南瓜鲜湿面感官评价 南瓜鲜湿面感官评价表(表1)评分标准参照GB/T 35875—2018《粮油检验 小麦粉面条加工品质评价》及SB/T 10137—1993《面条用小麦粉》。感官评价小组成员共15人,培训后进行感官评价,取平均值。

1.2.6 数据处理 使用Excel 2016对南瓜鲜湿面各项品质特性数据进行整合;SPSS Statistics 23进行相关性及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 南瓜粉添加量对鲜湿面品质特性的影响

2.1.1 色泽 南瓜粉添加量对鲜湿面色泽的影响如表2

所示。未添加南瓜粉鲜湿面的 L^* 值最高,为 83.385;其次是 5% 南瓜鲜湿面,为 78.108;随着南瓜粉添加量的增

表 1 南瓜鲜湿面感官评价表

Table 1 Sensory evaluation of fresh pumpkin noodles

项目	评分标准
色泽	面条呈亮黄色(16~20 分);面条偏白或偏黄,亮度一般(11~15 分);面条过白或过黄,亮度差,发灰(6~10 分)
表面状态	表面光滑、有明显透明质感(8~10 分);表面较光滑、透明质感不明显(5~7 分);表面粗糙、明显膨胀(1~4 分)
光滑性	光滑爽口(16~20 分);较光滑(11~15 分);不爽口(6~10 分)
弹性	弹性好(16~20 分);弹性一般(11~15 分);弹性差(6~10 分)
坚实度	软硬合适(16~20 分);稍软或稍硬(11~15 分);很软或很硬(6~10 分)
食味	具有南瓜香味(8~10 分);基本无异味,南瓜香味过淡或过重(5~7 分);有异味(1~4 分)

表 2 南瓜粉添加量对鲜湿面色泽的影响[†]

Table 2 Effect of pumpkin powder addition on the color of fresh noodles

南瓜粉添加量/%	L^*	a^*	b^*
0	83.385±1.167 ^{Aa}	1.681±0.144 ^{Gg}	17.978±0.610 ^{Ed}
5	78.108±0.975 ^{Bb}	8.589±0.246 ^{Ff}	32.994±1.070 ^{Dc}
10	71.748±1.388 ^{Cc}	13.414±0.270 ^{Ee}	36.204±1.004 ^{Bb}
15	71.434±0.923 ^{Cc}	16.941±0.296 ^{Dd}	38.349±1.524 ^{Aa}
20	67.441±1.079 ^{Dd}	18.934±0.360 ^{Cc}	36.139±1.420 ^{Bb}
25	65.048±0.384 ^{Ee}	20.361±0.546 ^{Bb}	34.517±1.373 ^{Cbc}
30	63.301±0.920 ^{Ff}	21.029±0.475 ^{Aa}	33.499±1.348 ^{Cdc}

† 同列大写字母不同表示 $P<0.05$ 水平下有显著性差异,小写字母不同表示在 $P<0.01$ 水平下有显著性差异。

表 3 南瓜粉添加量对鲜湿面蒸煮特性的影响[†]

Table 3 Effect of pumpkin powder addition on the cooking characteristics of fresh noodles

南瓜粉添加量/%	断条率/%	损失率/%	膨胀度/%	最佳蒸煮时间/s
0	3.3±2.4 ^{Aa}	3.9±0.6 ^{Aa}	150.2±3.2 ^{Aa}	306.35±4.74 ^{Ee}
5	10.0±4.1 ^{ABab}	5.9±0.6 ^{Bb}	121.2±1.5 ^{BCbc}	202.36±2.75 ^{Aa}
10	16.7±2.0 ^{BCbc}	10.9±0.3 ^{Cc}	115.7±0.9 ^{Cbc}	210.23±4.99 ^{Aa}
15	15.0±4.1 ^{BCbc}	11.7±0.1 ^{Cc}	115.4±3.5 ^{Cbc}	234.65±4.58 ^{Bb}
20	20.0±4.1 ^{Cbc}	11.4±0.1 ^{Cc}	112.8±8.5 ^{Cc}	252.86±6.12 ^{Cc}
25	21.7±2.4 ^{Cc}	12.9±0.3 ^{Dd}	116.7±1.0 ^{Cbc}	286.61±4.58 ^{Dd}
30	35.0±4.1 ^{Dd}	15.3±0.3 ^{Ee}	126.2±3.5 ^{Bb}	320.58±6.20 ^{Fe}

† 同列大写字母不同表示 $P<0.05$ 水平下有显著性差异,小写字母不同表示在 $P<0.01$ 水平下有显著性差异。

加, L^* 值逐渐下降,颜色加深。30% 南瓜鲜湿面 a^* 值最高,为 21.029;随着南瓜粉添加量的增加, a^* 值逐渐升高,红色含量上升。15% 南瓜鲜湿面 b^* 值最高,为 38.349;随着南瓜粉添加量的增加, b^* 值先升高,黄色含量上升,南瓜粉添加量到达 15% 后 b^* 值降低,黄色含量下降。

南瓜含有的胡萝卜素和叶黄素等为天然脂溶性色素,对光、热不敏感,性质稳定,不同种南瓜所含色素比例不同使其呈黄色、深黄色或橘黄色等。由于南瓜色素中胡萝卜素含量最高,呈橙黄色,随着南瓜粉添加量的增加,南瓜鲜湿面由亮黄色逐渐转变为橙黄色。孙静亚等^[15]发现,由南瓜制作的色素水溶液随其添加量的增加,颜色由淡黄色转变为深黄色,再变为橙红色,直至红褐色,与试验结果一致。

2.1.2 蒸煮特性 南瓜粉添加量对鲜湿面蒸煮特性的影响如表 3 所示。未添加南瓜粉鲜湿面的断条率和损失率最低,分别为 3.3% 和 3.9%。南瓜粉添加量为 5% 的鲜湿面断条率较低,为 10%;添加量为 30% 时,其鲜湿面断条率最高(为 35%),随着南瓜粉添加量的增加,断条率呈升高趋势。添加 5% 南瓜粉的鲜湿面损失率最低(为 5.9%),损失率随南瓜粉含量的增加,有明显的上升趋势。添加南瓜粉后膨胀度较未添加南瓜粉时的 150.197% 均有所下降,添加 30% 南瓜粉的鲜湿面膨胀度最高为 126.2%,但其他各添加量水平之间膨胀度差异不明显。添加 5% 南瓜粉的鲜湿面其蒸煮时间最少为 202.363 s,随着南瓜粉添加量的增加,最佳蒸煮时间延长,南瓜粉含量达 30% 时,其蒸煮时间超过未添加南瓜粉鲜湿面。

断条率、损失率和膨胀度是评定鲜湿面品质好坏的重要指标。由于南瓜中多糖含量较高,与小麦粉混合后制成鲜湿面,随着南瓜粉含量的上升,多糖改变面筋网状结构;经高温烹煮后,南瓜鲜湿面中的多糖与蛋白质分子构象可能发生变化,疏水性作用增强,面筋网状结构松散^[16],导致其断条率和损失率较小麦鲜湿面均有所上升。而膨胀度和蒸煮时间较小麦鲜湿面均有所下降,可能是由于南瓜粉的加入,导致其糊化温度下降^[13],使蒸煮过程

加快,进而减少了水分吸收,因此膨胀度有所下降。

2.1.3 质构特性 南瓜粉添加量对鲜湿面质构特性的影响如表 4 所示。不同比例南瓜鲜湿面的硬度随南瓜粉添加量的上升先增大后减小;南瓜粉含量达到 20%时硬度最大为 67.362 N。25%南瓜粉鲜湿面的黏附性最大为 -149.652 g·s,20%南瓜粉鲜湿面的黏附性最小为 -239.036 g·s。但黏附性与南瓜粉添加量无明显相关性。当南瓜粉添加量为 5%时,其回复性、内聚性、弹性和咀嚼性较未添加南瓜粉时均有上升,分别为 30.024%、0.662、92.140%和 3 709.605,且随着南瓜粉添加量的增加均有所下降。胶着性在南瓜粉添加量为 10%时最大,为 4 165.744,且随着南瓜粉添加量的增加,有明显下降趋势。

适量添加南瓜粉能改善面条的质构特性,且当南瓜粉添加量在 5%和 15%时,其鲜湿面的质构特性优于小

麦粉鲜湿面。添加一定量的南瓜粉使得其鲜湿面硬度上升,可能由于南瓜多糖能填充面筋网络中,且南瓜中的膳食纤维可能存在黏附作用^[17];南瓜粉含量持续上升,南瓜中的多糖等其他物质瓦解了面筋的网状结构^[18],硬度下降。各鲜湿面黏性呈负数且与南瓜粉添加量不具有明显相关性,表明在质构检测过程中有反向力,与探头粘黏,黏度指数对这类食物并不具备研究意义。回复性、黏聚性、弹性、胶着性和咀嚼性关联性很强,与南瓜粉添加量呈负相关。牛琳茹^[19]研究发现,随着含钙枸杞多糖含量的增加,面筋中 β -螺旋结构含量下降, β -折叠结构含量上升,其网状结构发生改变,导致黏弹性下降。

2.1.4 感官品质 南瓜粉添加量对鲜湿面感官品质的影响如表 5 所示。添加南瓜粉对鲜湿面的色泽和食味均有改善,且得分随南瓜粉添加量增加而增加,其中南瓜粉添加量在 30%时得分最高分别为 16.6和 9.1。但鲜湿面表

表 4 南瓜粉添加量对鲜湿面质构特性的影响[†]

Table 4 Effect of pumpkin powder addition on the texture characteristics of fresh noodles

南瓜粉添加量/%	硬度/N	黏附性/(g·s)	回复性/%	内聚性
0	52.376±4.692 ^{ABb}	-160.960±18.975 ^{ABb}	25.890±1.997 ^{ABab}	0.654±0.024 ^{Aa}
5	59.662±1.720 ^{Bbc}	-155.375±15.452 ^{ABb}	30.024±2.527 ^{Aa}	0.662±0.027 ^{Aa}
10	65.102±1.635 ^{BCc}	-231.498±36.687 ^{Bc}	28.711±2.842 ^{ABb}	0.627±0.016 ^{Aa}
15	65.138±5.252 ^{BCc}	-221.522±29.814 ^{Bbc}	22.928±3.709 ^{BCbcd}	0.535±0.024 ^{Bb}
20	67.362±8.340 ^{Cc}	-239.036±30.593 ^{Bc}	22.190±2.153 ^{BCcd}	0.502±0.029 ^{Bb}
25	50.829±2.918 ^{Aa}	-149.652±38.736 ^{Aa}	21.109±3.507 ^{Ccd}	0.500±0.001 ^{Bb}
30	50.759±2.480 ^{Aa}	-189.121±58.074 ^{ABab}	18.429±4.597 ^{Cd}	0.471±0.083 ^{Bb}
南瓜粉添加量/%	弹性/%	胶着性	咀嚼性	
0	85.193±4.923 ^{ABab}	3 496.066±401.691 ^{Ba}	2 992.131±500.88 ^{BCa}	
5	92.140±2.926 ^{Aa}	4 029.011±246.347 ^{ABa}	3 709.605±202.494 ^{Aa}	
10	85.190±4.579 ^{ABab}	4 165.744±295.399 ^{Aa}	3 558.184±446.115 ^{ABa}	
15	84.586±0.824 ^{BCab}	3 572.307±603.905 ^{ABa}	2 983.306±485.344 ^{BCa}	
20	84.481±3.704 ^{BCab}	3 471.781±661.294 ^{Ba}	2 941.813±618.756 ^{Ca}	
25	83.504±3.031 ^{BCab}	2 586.066±269.244 ^{Cb}	2 161.295±255.547 ^{Db}	
30	77.455±9.685 ^{Cb}	2 434.441±438.924 ^{Cb}	1 859.364±189.753 ^{Db}	

[†] 同列大写字母不同表示 $P<0.05$ 水平下有显著性差异,小写字母不同表示在 $P<0.01$ 水平下有显著性差异。

表 5 南瓜粉添加量对鲜湿面感官评价的影响[†]

Table 5 Effect of pumpkin powder addition on the sensory evaluation scores of fresh noodles

南瓜粉添加量/%	色泽	表面状态	光滑性	弹性	坚实度	食味	总分
0	7.3±0.8 ^{Dc}	9.0±0.7 ^{Aa}	16.5±1.2 ^{Aa}	14.5±1.6 ^{ABab}	12.5±1.0 ^{Aa}	5.0±0.8 ^{Dd}	64.8±2.5 ^{Dc}
5	9.3±1.8 ^{Cc}	7.3±0.8 ^{Bb}	15.7±1.7 ^{ABab}	15.6±2.2 ^{Aa}	13.8±3.0 ^{Aa}	5.2±0.8 ^{Dd}	65.3±5.1 ^{Dc}
10	11.8±0.8 ^{Bb}	7.4±0.8 ^{Bb}	16.3±1.1 ^{Aab}	15.1±1.8 ^{ABa}	13.3±2.2 ^{Aa}	6.4±0.5 ^{Cc}	69.6±4.1 ^{ABCabc}
15	14.9±1.8 ^{Aa}	8.0±0.9 ^{Bab}	15.8±1.6 ^{ABab}	13.7±1.9 ^{BCabc}	12.6±2.8 ^{Aa}	7.2±0.6 ^{Cbc}	73.4±6.2 ^{Aa}
20	15.2±2.4 ^{Aa}	8.0±1.1 ^{Bab}	14.3±1.3 ^{BCbc}	12.8±1.4 ^{CDbcd}	12.4±2.0 ^{Aa}	8.1±0.9 ^{Bab}	71.7±4.1 ^{ABab}
25	15.5±2.4 ^{Aa}	6.0±1.4 ^{Cc}	13.4±1.6 ^{CDcd}	12.0±0.9 ^{DEcd}	12.2±2.7 ^{Aa}	8.6±1.3 ^{ABa}	67.9±3.1 ^{BCDabc}
30	16.6±2.8 ^{Aa}	5.5±1.2 ^{Cc}	12.1±2.4 ^{Dd}	11.1±1.9 ^{Ed}	12.0±2.4 ^{Aa}	9.1±1.3 ^{Aa}	66.4±4.4 ^{CDbc}

[†] 同列大写字母不同表示 $P<0.05$ 水平下有显著性差异,小写字母不同表示在 $P<0.01$ 水平下有显著性差异。

面状态和光滑性得分较未添加南瓜粉的明显下降,其中南瓜粉含量 15%和 20%的表面状态得分最高均为 8.0;南瓜粉含量 10%的光滑性得分最高为 16.3。弹性得分最高的是添加 5%南瓜粉的鲜湿面,得分为 15.6,当南瓜粉添加量达到 15%后,其弹性得分低于小麦粉鲜湿面。各水平南瓜鲜湿面的坚实度无明显差别。当南瓜粉添加量为 15%时,感官评价总分最高为 73.4,且添加南瓜粉后能不同程度地改善鲜湿面的感官指标。

2.2 南瓜鲜湿面品质特性相关性分析

对不同南瓜粉添加量鲜湿面在色泽、蒸煮特性、质构特性及感官特性的 21 个指标进行两两相关性分析,其结果如表 6 所示。其中,硬度与胶着性($R=0.751$)呈显著正相关;与黏附性($R=-0.813$)、最佳蒸煮时间($R=-0.771$)呈显著负相关。回复性与感官弹性($R=0.962$)、坚实度($R=0.932$)、内聚性($R=0.928$)、咀嚼性($R=0.901$)、质构弹性($R=0.868$)、胶着性($R=0.856$)、光滑性($R=0.814$)呈显著正相关。内聚性与感官弹性($R=0.964$)、胶着性($R=0.856$)、光滑性($R=0.847$)、坚实度($R=0.796$)、质构弹性($R=0.762$)呈显著正相关;与损失率($R=-0.855$)、断条率($R=-0.838$)呈显著负相关。质构弹性与坚实度($R=0.880$)、感官弹性($R=0.845$)、咀嚼性($R=0.842$)呈显著正相关。胶着性与咀嚼性($R=0.988$)、感官弹性($R=0.898$)、坚实度($R=0.885$)、光滑性($R=0.800$)呈显著正相关;与最佳蒸煮时间($R=-0.902$)呈显著负相关。咀嚼性与感官弹性($R=0.933$)、坚实度($R=0.921$)、光滑性($R=0.817$)呈显著正相关;与最佳蒸煮时间($R=-0.901$)呈显著负相关。表面状态与光滑性($R=0.837$)呈显著正相关,与断条率($R=-0.826$)呈显著负相关。坚实度与最佳蒸煮时间($R=-0.861$)呈显著负相关。色泽与 a^* 呈显著正相关,与 L^* 呈显著负相关。 a^* 与 b^* 呈显著正相关,与 L^* 呈显著负相关。两两相关性结果表明,南瓜粉鲜湿面的质构特性、感官特性和蒸煮特性均具有较强的相关性,但膨胀度与其相关的特性指标不具有相关性。

2.3 南瓜鲜湿面主成分分析

根据各项特性研究数据及相关性分析结果,排除不具有意义的黏附性及与其他指标不具备相关性的膨胀度后,选取了硬度、回复性、内聚性、质构弹性、胶着性、咀嚼性、断条率、损失率、最佳蒸煮时间、 L^* 、 a^* 、 b^* 和感官评价得分 13 个指标数据作为主成分分析的基础数据,KMO 为 0.622,巴特利特球形检验具有极显著性,表明基础数据适合进行主成分分析。

主成分分析总方差解释如表 7 所示,其中成分 1 和成分 2 特征值均大于 1,分别为 7.832 和 3.900,累积方差百分比为 90.242%,表明成分 1 和成分 2 能代表南瓜鲜湿

面的各项指标数据。因此提取 2 个主成分,成分 1 方差百分比为 60.245%,成分 2 方差百分比为 29.998%。

表 8 表示各项指标在成分 1 和成分 2 中的成分矩阵,以此判断它们在两成分中的贡献度。其中,内聚性在成分 1 中载荷最高为 0.961,回复性、内聚性、弹性、胶着性、咀嚼性、断条率、损失率、 L^* 和 a^* 有较高载荷,这 9 项指标相关性强; b^* 在成分 2 中载荷最高为 0.882,硬度、最佳蒸煮时间和感官评价载荷较高,这 4 项指标相关性强。其结果与相关性分析结果一致。

表 9 表示各项指标成分 1 和成分 2 中的得分系数,将 13 项指标进行标准化处理后,由此建立主成分综合得分模型。

$$Y_1 = 0.041X_1 + 0.12X_2 + 0.123X_3 + 0.111X_4 + 0.103X_5 + 0.111X_6 - 0.115X_7 - 0.115X_8 - 0.077X_9 + 0.115X_{10} - 0.11X_{11} - 0.049X_{12} - 0.032X_{13}, \quad (2)$$

$$Y_2 = 0.222X_1 + 0.039X_2 - 0.042X_3 + 0.052X_4 + 0.142X_5 + 0.124X_6 + 0.043X_7 + 0.097X_8 - 0.196X_9 - 0.091X_{10} + 0.121X_{11} + 0.226X_{12} + 0.205X_{13}, \quad (3)$$

$$Y = (0.648\ 27/0.924\ 8)Y_1 + (0.276\ 53/0.924\ 8)Y_2, \quad (4)$$

式中:

$X_1, X_2, \dots, X_{13}$ ——经处理后的硬度、回复性、内聚性、弹性、胶着性、咀嚼性、断条率、损失率、最佳蒸煮时间、 L^* 、 a^* 、 b^* 和感官评价的标准化数值;

Y_1 ——指标成分 1 中的得分;

Y_2 ——指标成分 2 中的得分;

Y ——综合得分。

不同南瓜粉添加量鲜湿面成分得分及综合得分如表 10 所示,5%南瓜粉鲜湿面综合得分 0.924,排名第一;其次为 10%南瓜粉鲜湿面,综合得分 0.680;南瓜粉添加量为 30%时综合得分最低,为-1.223。

3 结论

通过对南瓜粉不同添加量鲜湿面的色泽、蒸煮特性、质构特性和感官品质等特性指标的测定,结合相关性分析及主成分分析方法,探究其变化规律。研究表明,随着南瓜粉添加量的增加,南瓜鲜湿面色泽由亮黄色向橙黄色转变;断条率、损失率上升,最佳烹煮时间延长;硬度增加,回复性、内聚性、弹性、胶着性及咀嚼性均呈下降趋势,南瓜粉添加量在 5%的鲜湿面质构指标均高于小麦鲜湿面;感官评价得分先上升后下降,得分均高于小麦鲜湿面。质构特性与蒸煮特性、感官特性均有较强的相关性,色泽与感官评价中色泽得分相关性强,主客观一致性强。主成分分析 5%南瓜粉鲜湿面综合得分最高为 0.924,位列第一;且随着南瓜粉含量的增加,综合得分下降,当南瓜粉添加量在 20%时,综合得分仍高于小麦粉得分,但南

表 6 南瓜鲜湿面相关性分析结果[†]
Table 6 Correlation analysis of fresh pumpkin noodles

指标	硬度	黏附性	回复性	黏聚性	质构弹性	胶着性	咀嚼性	食味	表面状态	光滑性	感官弹性
硬度	1.000										
黏附性	-0.813 *	1.000									
回复性	0.335	0.123	1.000								
黏聚性	0.126	0.254	0.928 **	1.000							
质构弹性	0.352	0.240	0.868 *	0.762 *	1.000						
胶着性	0.758 *	-0.378	0.856 *	0.715	0.750	1.000					
咀嚼性	0.695	-0.249	0.901 **	0.768 *	0.842 *	0.988 **	1.000				
食味	-0.160	-0.237	-0.869 *	-0.976 **	-0.770 *	-0.690	-0.751	1.000			
表面状态	0.468	-0.234	0.475	0.590	0.449	0.559	0.575	-0.714	1.000		
光滑性	0.470	-0.122	0.814 *	0.847 *	0.663	0.800 *	0.817 *	-0.884 **	0.837 *	1.000	
感官弹性	0.438	0.004	0.964 **	0.938 **	0.845 *	0.898 **	0.933 **	-0.926 **	0.645	0.918 **	1.000
坚实度	0.441	0.029	0.932 **	0.796 *	0.880 **	0.885 **	0.921 **	-0.732	0.291	0.662	0.896 **
色泽	0.050	-0.300	-0.798 *	-0.954 **	-0.671	-0.528	-0.597	0.963 **	-0.647	-0.774 *	-0.821 *
感官评价	0.750	-0.804 *	-0.239	-0.432	-0.173	0.208	0.126	0.367	0.171	0.071	-0.122
断条率	-0.203	-0.219	-0.749	-0.838 *	-0.733	-0.585	-0.661	0.910 **	-0.845 *	-0.900 **	-0.826 *
损失率	-0.009	-0.386	-0.737	-0.885 **	-0.733	-0.498	-0.588	0.941 **	-0.738	-0.764 *	-0.784 *
膨胀度	-0.584	0.509	0.089	0.443	-0.036	-0.217	-0.169	-0.498	0.378	0.246	0.151
最佳烹煮时间	-0.771 *	0.345	-0.735	-0.477	-0.744	-0.902 **	-0.901 **	0.438	-0.273	-0.584	-0.733
L *	0.042	0.302	0.730	0.908 **	0.664	0.530	0.599	-0.970 **	0.774 *	0.836 *	0.816 *
a *	0.079	-0.360	-0.704	-0.909 **	-0.584	-0.454	-0.520	0.947 **	-0.706	-0.770 *	-0.764 *
b *	0.539	-0.536	-0.180	-0.500	-0.074	0.155	0.093	0.549	-0.448	-0.302	-0.214

指标	坚实度	色泽	感官评价	断条率	损失率	膨胀度	最佳烹煮时间	L *	a *	b *
硬度										
黏附性										
回复性										
黏聚性										
质构弹性										
胶着性										
咀嚼性										
食味										
表面状态										
光滑性										
感官弹性										
坚实度	1.000									
色泽	-0.610	1.000								
感官评价	-0.144	0.560	1.000							
断条率	-0.545	0.869 *	0.164	1.000						
损失率	-0.556	0.962 **	0.468	0.928 **	1.000					
膨胀度	-0.142	-0.658	-0.692	-0.444	-0.620	1.000				
最佳烹煮时间	-0.861 *	0.232	0.232	0.327	0.232	0.556	1.000			
L *	0.553	-0.963 **	-0.963 **	-0.929 **	-0.971 **	0.655	-0.240	1.000		
a *	-0.502	0.985 **	0.985 **	0.873 *	0.961 **	-0.743	0.130	-0.982 **	1.000	
b *	0.089	0.723	0.723	0.542	0.708	-0.972 **	-0.497	-0.698	0.788 *	1.000

† * 表示有显著性差异, ** 表示有极显著差异。

表 7 总方差解释

Table 7 Explanation of total variance

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比/%	累积/%	总计	方差百分比/%	累积/%
1	7.832	60.245	60.245	7.832	60.245	60.245
2	3.900	29.998	90.242	3.900	29.998	90.242
3	0.784	6.034	96.276			
4	0.304	2.336	98.612			
5	0.134	1.027	99.639			
6	0.047	0.361	100.000			

表 8 成分矩阵

Table 8 Component matrix

指标	成分 1	成分 2	指标	成分 1	成分 2
硬度	0.319	0.865	损失率	-0.902	0.377
回复性	0.939	0.150	最佳蒸煮时间	-0.606	-0.765
内聚性	0.961	-0.165	L^*	0.903	-0.355
弹性	0.869	0.202	a^*	-0.862	0.472
胶着性	0.808	0.552	b^*	-0.388	0.882
咀嚼性	0.867	0.485	感官评价	-0.252	0.800
断条率	-0.900	0.168			

表 9 成分得分系数

Table 9 Component score coefficient

指标	成分 1	成分 2	指标	成分 1	成分 2
硬度	0.041	0.222	损失率	-0.115	0.097
回复性	0.120	0.039	最佳蒸煮时间	-0.077	-0.196
内聚性	0.123	-0.042	L^*	0.115	-0.091
弹性	0.111	0.052	a^*	-0.110	0.121
胶着性	0.103	0.142	b^*	-0.049	0.226
咀嚼性	0.111	0.124	感官评价	-0.032	0.205
断条率	-0.115	0.043			

表 10 主成分得分及综合得分

Table 10 Principal component score and comprehensive score

南瓜粉添加量/%	主成分 1	主成分 2	综合得分	排名
0	0.925	-1.762	0.031	5
5	1.304	0.160	0.924	1
10	0.574	0.893	0.680	2
15	-0.116	0.915	0.227	3
20	-0.333	0.819	0.050	4
25	-0.847	-0.370	-0.689	6
30	-1.506	-0.654	-1.223	7

瓜粉含量超过 20%则会影响其鲜湿面的品质,说明适量添加南瓜粉能改善鲜湿面的品质特性。

与南瓜挂面相比,南瓜鲜湿面的色泽更鲜艳,随南瓜粉添加量增加颜色变化明显,可能是由于鲜湿面水分含量较高且制作过程温度更低,使面条色泽更均匀,避免南瓜色素受热衰减^[15]。南瓜鲜湿面蒸煮特性与质构特性变化趋势与南瓜挂面相似^[7]。试验过程中未使用添加剂,后续可深入研究添加剂对南瓜鲜湿面品质特性的影响。

参考文献

[1] 刘华, 陈伟, 李殿鑫. 葛根山药南瓜饼干的制作工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(7): 85-89.

- LIU Hua, CHEN Wei, LI Dian-xin. Study on production process of pueraria yam pumpkin biscuits[J]. *Cereal & Oils*, 2018, 31(7): 85-89.
- [2] 王腾飞, 冯越, 霍梅俊, 等. 南瓜馒头加工工艺研究[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(11): 36-39.
- WANG Teng-fei, FENG Yue, HUO Mei-jun, et al. Research on processing technology of pumpkin steamed buns[J]. *Cereal & Oils*, 2020, 33(11): 36-39.
- [3] 马欣, 古绍彬, 吴影. 凝结芽孢杆菌复合干酪乳杆菌发酵南瓜饮料的研制[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(7): 161-167.
- MA Xin, GU Shao-bin, WU Ying. Development of fermented pumpkin beverage with *Bacillus coagulans* and *Lactobacillus casei*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(7): 161-167.
- [4] 顾熟琴, 卢大新, 李静. 抗坏血酸对南瓜面条的护色效果[J]. *食品科学*, 2006(12): 138-141.
- GU Shu-qin, LU Da-xin, LI Jing. Effect of adding ascorbic acid on color-protection of pumpkin noodle[J]. *Food Science*, 2006(12): 138-141.
- [5] 顾熟琴, 卢大新, 刘彤. 柠檬酸对南瓜面条的护色效果[J]. *食品科学*, 2007(9): 567-570.
- GU Shu-qin, LU Da-xin, LIU Tong. Effect of citric acid on color-protection of pumpkin noodle[J]. *Food Science*, 2007(9): 567-570.
- [6] 高春娜, 顾熟琴, 郭爱贤, 等. 南瓜面条食用品质的影响因素分析[J]. *食品科学*, 2008, 29(12): 320-322.
- GAO Chun-na, GU Shu-qin, GUO Ai-xian, et al. Effects of processing factors on eating quality of pumpkin noodle[J]. *Food Science*, 2008, 29(12): 320-322.
- [7] 薛淑静, 关键, 周明, 等. 南瓜粉对其营养强化挂面品质的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2013, 31(6): 46-50.
- XUE Shu-jing, GUAN Jian, ZHOU Ming, et al. Effects of pumpkin powder in flour on quality of dried noodles[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2013, 31(6): 46-50.
- [8] 孙粮, 孙君庚, 王充, 等. 低蛋白南瓜挂面的生产工艺[J]. *食品工业*, 2020, 41(8): 164-168.
- SUN Liang, SUN Jun-geng, WANG Chong, et al. The production technology of pumpkin noodle with low protein[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(8): 164-168.
- [9] 陈志瑜, 周文化, 宋显良, 等. 水分含量对鲜湿米粉品质影响[J]. *粮食与油脂*, 2012, 25(7): 23-26.
- CHEN Zhi-yu, ZHOU Wen-hua, SONG Xian-liang, et al. Effect of moisture content on quality of fresh rice noodle[J]. *Cereal & Oils*, 2012, 25(7): 23-26.
- [10] 宋显良, 邓学良, 周文化. 生鲜湿面防霉保鲜技术[J]. *食品与机械*, 2013, 29(2): 159-162.
- SONG Xian-liang, DENG Xue-liang, ZHOU Wen-hua. Study on technologies of mouldproof and freshkeeping in wet-fresh noodle[J]. *Food & Machinery*, 2013, 29(2): 159-162.
- [11] 张梦潇, 周文化, 莫华, 等. 不同品种紫薯粉鲜湿面条的品质特性及主成分分析[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(1): 79-85.
- ZHANG Meng-xiao, ZHOU Wen-hua, MO Hua, et al. Quality characteristics and principal component analysis of fresh noodles with purple sweet potato flour of different varieties[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(1): 79-85.
- [12] KRISHNAN J G, MENON R, PADMAJA G, et al. Evaluation of nutritional and physico-mechanical characteristics of dietary fiber-enriched sweet potato pasta[J]. *European Food Research and Technology*, 2012, 234(3): 467-476.
- [13] 李勇, 周文化. 板栗全粉对鲜湿面品质影响及主成分分析[J]. *食品科技*, 2019, 44(8): 152-157.
- LI Yong, ZHOU Wen-hua. Effect of chestnut power on fresh noodles quality and principal component analysis[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(8): 152-157.
- [14] 李立华. 乳化剂对机制鲜湿面货架期内品质影响研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017: 8-9.
- LI Li-hua. Study on the effect of emulsifier on quality of moisture fresh noodles during shelf-life[D]. Changsha: Central South University of University and Technology, 2017: 8-9.
- [15] 孙静亚, 王惠君, 朱赞清, 等. 南瓜色素的提取及理化性质的研究[J]. *现代食品科技*, 2005(1): 49-52.
- SUN Jing-ya, WANG Hui-jun, ZHU Zan-qing, et al. Study on extraction and the physical and chemical character of pumpkin pigment[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2005(1): 49-52.
- [16] 李安琪, 尚静, 李前进, 等. 基于蛋白质、多糖混合体系的食物凝胶结构设计策略[J/OL]. *食品科学*. [2021-06-02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201120.1510.087.html>.
- LI An-qi, SHANG Jing, LI Qian-jin, et al. Design principles of food gel structures based on mixed polysaccharide and protein solutions[J/OL]. *Food Science*. [2021-06-02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201120.1510.087.html>.
- [17] NAWROCKA A, SZYMANSKA-CHARGOT M, MIS A, et al. Dietary fiber-induced changes in the structure and thermal properties of gluten proteins studied by fourier transform-raman spectroscopy and thermogravimetry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(10): 2 094-2 104.
- [18] 陈佳芳, 汤晓娟, 蒋慧, 等. 不同高产胞外多糖乳酸菌发酵荞麦酸面团对面团筋网络结构和面包烘焙特性的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(6): 1-6.
- CHEN Jia-fang, TANG Xiao-juan, JIANG Hui, et al. Effect of fermentation of buckwheat sourdough with different exopolysaccharide-producing strains of lactic acid bacteria (LAB) on dough microstructure and bread quality[J]. *Food Science*, 2018, 39(6): 1-6.
- [19] 牛琳茹. 含钙枸杞叶多糖对模型面团的水分迁移和结构构象的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2019: 36-41.
- NIU Lin-ru. Calcium-rich polysaccharide from *Lycium barbarum* L. leaves affects water migration and gluten conformation of model gluten dough[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2019: 36-41.