

不同品种马铃薯全粉面条品质特性及主成分分析

王丽, 罗红霞, 李淑荣, 句荣辉, 汪慧华, 刘小飞, 贾红亮

(北京农业职业学院食品与生物工程系, 北京 102442)

摘要: 为研究不同品种马铃薯面条品质特性的差异及马铃薯的加工适宜性, 分析了 11 个品种马铃薯全粉面条的品质特性, 采用主成分分析对 11 个品种面条品质特性进行分析及综合评价。结果表明, 不同品种面条品质特性差异显著($p < 0.05$), 面条的 ΔE^* 与弹性 ($r = 0.594^*$), 最佳蒸煮时间与咀嚼性 ($r = 0.748^{**}$)、内聚力 ($r = 0.648^*$), 咀嚼性与弹性 ($r = 0.764^{**}$)、内聚力 ($r = 0.836^{**}$), 弹性与内聚力 ($r = 0.625^*$), 内聚力与粘结性 ($r = 0.523^*$) 呈显著的正相关性。主成分分析中前 4 个主成分的累积贡献率为 85.77%, 解释了原有面条品质特性的多数信息, 第一主成分综合了口感特性、第二主成分综合了蒸煮特性、第三主成分综合了硬度特性、第四主成分综合了色泽特性; 通过面条综合评价模型计算综合得分, 评价较优的品种是陇薯 9 号、LZ111 和陇薯 7 号。本研究为筛选适宜加工面条的马铃薯专用品种提供了依据。

关键词: 马铃薯全粉面条; 品质特性; 相关性分析; 主成分分析; 综合主成分得分

文章编号: 1673-9078(2018)01-111-118

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.1.018

The Noodle Quality Characteristics and Principal Component Analysis of Different Potato Varieties

WANG Li, LUO Hong-xia, LI Shu-rong, JU Rong-hui, WANG Hui-hua, LIU Xiao-fei, JIA Hong-liang

(Department of Food and Biological Engineering, Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442, China)

Abstract: In order to study the characteristics difference of varieties of potato noodles and processing suitability of potato, the quality characteristics of 11 potato varieties noodles were analyzed and evaluated by principal component analysis. The results showed that the noodle quality characteristics of different potato varieties had significant difference with each other ($p < 0.05$). The ΔE^* and elasticity ($r = 0.594^*$), best cooking time and chewiness ($r = 0.748^{**}$), cohesiveness ($r = 0.648^*$), chewiness and elasticity ($r = 0.764^{**}$), cohesiveness ($r = 0.836^{**}$), elasticity and cohesiveness ($r = 0.625^*$), cohesiveness and viscosity ($r = 0.523^*$) had significant positive relationship. The principal component analysis results showed that the accumulative contribution rate of the first four components was 85.77%, which explained the most information of the noodle quality. The first principal component combined the taste characteristics, the second principal component synthesized the cooking characteristics, the third principal component combined the hardness characteristics and the fourth principal component synthesized the color characteristic. The comprehensive score was evaluated by the comprehensive evaluation model of noodles, and the more excellent varieties were the Longshu 9, LZ111 and Longshu 7. This research provides a basis for the selection of suitable potato varieties for noodles processing.

Key words: potato powder noodle; quality characteristic; correlation analysis; principal component analysis; Comprehensive principal component scores

马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 为茄科茄属一年生草本, 富含蛋白质、碳水化合物、矿物质等人体需要的营养成分, 也含有各类维生素、膳食纤维和多酚等活性成分^[1]。马铃薯种植范围遍布世界各地, 是重要的粮食蔬菜兼用作物^[2]。目前, 马铃薯已经成为依次

收稿日期: 2017-07-31

基金项目: 北京市教委科技一般项目 (KM201612448005); 北京农业职业学院博士基金项目 (XY-BS-16-04)

作者简介: 王丽 (1982-), 女, 博士, 研究方向: 农产品加工与质量安全
通讯作者: 李淑荣 (1968-), 女, 教授, 硕士生导师, 主要从事粮油、果蔬产品加工与质量检测

于小麦、水稻、玉米的世界第四大主要粮食作物^[3]。据联合国粮农组织统计^[4], 我国马铃薯年产量为 0.96 亿吨, 位居世界首位。但是我国马铃薯加工转化率低, 产品种类少, 主要以鲜食为主, 加工比例仅有 10% 左右, 产品也仅有 10 余种^[5]。而欧美等发达国家, 马铃薯深加工转化比例高, 如美国为 75%, 法国为 60%, 英国也在 40% 以上, 利用马铃薯开发的产品达到 2000 种之多^[6]。

我国的马铃薯品种资源十分丰富, 目前已育成的有 300 多个品种, 在生产上有一定推广面积的品种有 90 多个。Friedman^[7]和 Ngobese^[8]等人研究表明不同品

种马铃薯品质差异显著。研究发现,马铃薯粉丝品质与马铃薯品质特性之间存在密切的关系,如邓珍珍^[9]研究表明,粉丝品质与直链淀粉和不可溶性淀粉含量有关,谭洪卓^[10]认为粉丝质量与淀粉老化值有关。关于马铃薯面条的研究目前处于起步阶段,如廖卢艳^[11]和 Ye^[12]初步研究表明淀粉的糊化和老化特性在面条品质特性中具有很大贡献。徐芬^[13]研究发现,中薯 19 号的面条面汤浊度和蒸煮损失率最小,中薯 19 号、中薯 18 号、948A 及夏波蒂制作的面条拉伸特性、硬度及咀嚼性最好且微观结构较为致密。并且由于马铃薯中缺乏面筋蛋白而使得面团难于成型^[14]。关于不同品种马铃薯面条品质特性的差异情况、马铃薯面条品质特性的评价方法与评价指标、马铃薯面条加工的专用品种并不清楚。因此,开发适合我国居民饮食习惯的面条、馒头等满足一日三餐消费的新型主食产品,筛选适合加工新型主食产品的专用品种,培育具有新型主食产品加工需求特性的新品种,将是我国马铃薯加工工业的重点发展方向。

面条品质特性评价指标众多,如最佳蒸煮时间、质构特性、拉伸特性、吸水率、蒸煮损失率、感官特性等^[15,16],但是要用众多的指标评价马铃薯面条的品质,很难比较出不同品种面条品质特性的差异,采用科学的统计分析方法显得至关重要。主成分分析在产品品质分析上已经开展了研究,目前主成分分析广泛应用于薯片^[17]、挂面^[18]、牛奶^[19]和蜂蜜^[20]等品质特性分析,在品质评价指标的筛选及品质评价方面并取得了显著的效果。本文以黑龙江、甘肃两个马铃薯主要种植地区的主要品种和北京市马铃薯典型品种为研究对象,在前期优化方法基础上,制备马铃薯全粉及面条,分析马铃薯全粉面条的色泽、蒸煮特性和质构特性差异情况,并采用主成分分析马铃薯全粉面条的重要评价指标及不同品种面条的综合评分,该研究将为我国马铃薯面条的品质评价提供依据,为马铃薯面条加工专用品种的筛选提供依据。

1 试验材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料

马铃薯品种由黑龙江八一农垦大学、甘肃省农科院及北京某蔬菜基地提供(如表 1 所示),小麦粉:金沙河面粉。

1.1.2 仪器设备

电子天平($d=0.01\text{ g}$),常熟市恒佳仪器有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,上海试验仪器有限公司;

FW100 高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;WSC-S 色差计,上海精科仪器设备有限公司;CT3 质构仪,美国博勒飞。

表 1 马铃薯品种名称及来源

Table 1 The name and origin of the potato varieties

序号	品种名称	来源
1	垦薯 1 号	黑龙江八一农垦大学
2	布尔班克	黑龙江八一农垦大学
3	抗疫白	黑龙江八一农垦大学
4	克新 27	黑龙江八一农垦大学
5	陇 14	甘肃省农科院
6	LZ111	甘肃省农科院
7	陇薯 9 号	甘肃省农科院
8	陇薯 7 号	甘肃省农科院
9	LY08104-12	甘肃省农科院
10	陇薯 8 号	甘肃省农科院
11	荷兰薯	北京某蔬菜基地

1.2 实验方法

1.2.1 马铃薯全粉制备工艺

马铃薯清洗→去皮→切片(3~5 mm)→55℃烘干→磨粉→过 80 目筛→备用

1.2.2 马铃薯全粉面条的制备工艺

称量(马铃薯全粉:小麦粉=2:1)→和面→压面→煮面

1.2.3 马铃薯全粉面条色泽的测定

参照 Li^[21]、Naresh^[22]的方法稍作改动。取马铃薯全粉面条放入 WSC-S 测色色差计样品杯中,并填满样品杯,测定各样品的 L*、a*、b*值。其中 L*值越大,说明亮度越大,+a*方向越向圆周,颜色越接近纯红色;-a*方向越向外,颜色越接近纯绿色。+b*方向是黄色增加,-b*方向蓝色增加。匀色空间 L*、a*、b*表色系上亮点间的距离两个颜色之间的总色差:

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

每个样品测定 3 组平行。

1.2.4 马铃薯面条蒸煮品质的测定

(1) 最佳蒸煮时间的确定:取长度为 18 mm 的面条 20 根,放入 500 mL 沸水中,同时开始计时。保持水处于 98℃~100℃微沸状态下煮制,从 1 min 开始,每隔 30 s 取出一根面条,用透明玻璃片压开观察面条中间白芯的有无,白芯刚消失时的时间即为面条的最佳煮制时间。设两次重复。

(2) 断条率的测定:取 40 根面条,放入 1000 mL 沸水中蒸煮,达到最佳蒸煮时间后,捞出面条,数出完整面条的根数。

$$\text{断条率} = \frac{\text{断条根数}}{40} \times 100$$

(3) 面条蒸煮损失率的测定: 取 10 g 生面条放入盛有 250 mL 沸水的小锅中煮至最佳时间, 捞出面条, 用蒸馏水冲淋面条 10 s, 将面条凉 4 min 后对其进行烘干至恒重, 然后称重, 同时对 10 g 生面条也烘干至恒重, 重复试验 2 次 (参考中华人民共和国行业标准《挂面生产工艺测定方法》对鲜切面及干面的蒸煮损失进行测定, 方法略有改动)。

$$\text{蒸煮损失率} = \frac{\text{生面条干重} - \text{熟面条干重}}{\text{生面条干重}} \times 100$$

(4) 膨胀率的测定: 取 10 g 生面条放入盛有 250 mL 沸水中煮至最佳时间, 捞出面条, 控水 10 min 后, 称其质量。

$$\text{膨胀率} = \frac{\text{湿面条质量} - \text{控水后面条质量}}{\text{湿面条质量}} \times 100$$

1.2.5 马铃薯面条质构的测定

参照 Jridi^[23]和 Mudgil^[24]等方法稍作改动, 面条在最佳蒸煮时间条件煮好后, 用流动的自来水冲淋 30 s, 放在质构仪载物台上, 选用 TA 41 探头, 选取 TPA 模式进行试验。质构仪设定参数为: 测试速度 8 mm/s, 触发力 4.5 g, 压缩时间 1 s, 压缩距离 1.5 mm。测定指标为: 硬度、咀嚼性、弹性、内聚力、粘结性, 每个样品重复 6 次平行试验。

1.2.6 数据处理

结果采用平均值±标准差表示, 数据显著性分析、相关性分析和主成分分析采用 SPSS 17.0 完成。

2 结果与分析

2.1 11 个品种马铃薯全粉面条品质特性分析

2.1.1 色泽

表 2 为马铃薯全粉面条品质特性。色泽是评价面条品质的重要指标, 直接影响人们对面条品质优劣的判断。表 2 结果显示, 不同品种马铃薯全粉色泽差异显著, LZ111 色泽最好, ΔE^* 值为 70.48 ± 0.19 , 色泽最差的为陇薯 8 号, ΔE^* 值为 57.10 ± 0.17 。本研究中马铃薯面条的色泽与徐芬^[13]研究的全粉面条 (L^* 值为 83.89) 及沈存宽^[25]研究的全粉面条 (L^* 值为 92.59) 的色泽差异显著, 其主要是本研究在全粉加工过程中未使用护色剂。因此本研究的全粉面条的色泽除了具有不同品种马铃薯果肉颜色存在差异之外, 也可能是由于不同品种的马铃薯中多酚氧化酶含量及抗氧化活性的不同, 使其发生褐变的程度不同。

2.1.2 最佳蒸煮时间

面条的最佳蒸煮时间是面条的主要品质特性之一, 其时间长短与原料及制品品质密切相关。蒸煮时间长, 可能是因为原料本身的生的质量特性, 使得蒸煮时间长, 而蒸煮时间短的, 可能是因为原料颗粒较散, 淀粉呈分散状态, 而有助于水分渗透进入面条内部, 加速熟化过程, 且本身熟化度高, 使得面条易于煮熟^[26]。本文研究的 11 个品种面条的最佳蒸煮时间为 3~5.5 min (如表 2 所示)。其中荷兰薯面条的最佳蒸煮时间最短为 3 min, 低于纯小麦粉面条的最佳蒸煮时间 (4 min)。抗疫白和克新 17 号面条的最佳蒸煮时间最长, 为 5.5 min。本研究与沈存宽^[25]研究的最佳蒸煮时间为 3~4.5 min 有一定差异, 分析原因可能是沈存宽^[25]全粉的制备温度较高 (流化干燥温度 65 °C, 闪蒸干燥温度 137.8 °C), 达到了马铃薯淀粉的糊化温度 (55~70 °C), 使得全粉的熟化度高, 更易于面条煮熟。

2.1.3 断条率

断条率是评价面条蒸煮特性的重要指标, 可以较为直观地表征面条的耐煮性, 断条率越小, 说明面条的筋力强, 有嚼劲。马铃薯全粉的添加会影响面团中面筋的形成, 进而增加断条率, 本研究中面条的断条率在 7% 至 40% 之间 (如表 2 所示)。其中断条率最低的陇 14 (7%), 其次为陇薯 9 号和陇薯 7 号 (均为 10%)。

2.1.4 蒸煮损失率

蒸煮损失率是评价面条蒸煮品质的关键指标, 蒸煮损失率越高, 浑汤现象越严重, 说明面条的蒸煮品质越差。国家面条生产标准中最大蒸煮损失率为 10%, 本文的不同品种面条的蒸煮损失率在 10% 左右 (如表 2 所示), 其中抗疫白、陇 14、陇薯 8 号的蒸煮损失率低于 8%。Tudorica^[27]研究表明, 面条中添加纤维等物质时, 由于其自身的水化作用, 会破坏水分在蛋白和淀粉之间的分配, 增大蒸煮损失率。马铃薯全粉中的淀粉由于含有磷酸基团, 易吸收水分, 当添加一定量时, 会影响小麦淀粉和面筋的吸水, 破坏面筋结构的形成, 导致其面条的蒸煮损失率增大^[28]。

2.1.5 膨胀率

面条的膨胀率反应面条在蒸煮后吸收水分的多少, 研究表明, 面条的膨胀率与面条中面筋蛋白含量有关, 面筋蛋白含量越高, 面条膨胀率越高 (张晓燕, 2006)。本研究中不同品种面条的膨胀率差异显著, 膨胀率在 160%~190% 之间 (如表 2 所示), 其中陇薯 7 号和陇薯 9 号面条的膨胀率分别为 $188.73 \pm 0.40\%$ 和 $184.70 \pm 0.36\%$, 高于纯小麦粉面条的吸水率为 183.4%^[25]。本文研究的陇薯 7 号、陇薯 9 号、垦薯 1

号的膨胀率高于沈存宽^[25]的马铃薯生全粉面条的膨胀率(175.81%)。本研究中不同品种面条中的面筋蛋白质量一致,而面条膨胀率间差异显著,并且有的品种高于纯小麦粉的膨胀率,可能是不同品种马铃薯中的其他成分对面条膨胀率有贡献,具有原因有待进一步研究。

2.1.6 质构特性

TPA 质构分析是评价面条品质的有效方法,研究表明,TPA 质构测试各项参数与感官评价之间存在显著的相关性。陆启玉等^[29]研究表明,面条感官评价中的劲道感分别和硬度、粘合性、咀嚼性、回复性、弹性参数呈显著正相关,滑口感分别和硬度、咀嚼性、弹性和黏附性参数呈显著负相关。陈东升等^[30]研究表明,TPA 测试指标能较好地反应面条感官评价的适口性、韧性、粘性和总评分。因此,TPA 测试在一定程度上可以替代感官评价结果,并且结果更加客观。本

研究中不同品种的硬度、咀嚼性、弹性、内聚力和粘结性等指标之间差异显著(如表 2 所示)。其中硬度最大和最小的品种分别是陇 14 号(544.58±92.71 g)和荷兰薯(415.70±10.99 g);咀嚼性最大和最小的品种分别是克新 27(402.75±44.32 gmm)和荷兰薯(230.66±38.77 gmm);弹性最大和最小的品种分别是陇薯 7(1.69±0.05 mm)和陇薯 8 号(1.38±0.06 mm);内聚力最大和最小的品种分别是布尔斑克(0.53±0.09)和陇薯 8 号(0.36±0.10);粘结性最大和最小的品种分别是陇薯 7 号(5.03±0.13 gn)和 LY 08104-12(2.70±0.21 gn)。

以上分析了 11 个品种马铃薯全粉面条的 10 个典型品质,但不同品种各品质特性之间差异显著,通过以上数据分析很难区分不同品种面条品质特性的质量差异。

表 2 马铃薯面条品质特性

Table 2 The quality of potato noodle

序号	品种名称	ΔE*	最佳蒸煮时间/min	断条率/%	蒸煮损失率/%	膨胀率/%
1	垦薯 1 号	62.71±0.12 ^h	5	20	12.68±0.84 ^a	176.60±0.70 ^c
2	布尔斑克	60.57±0.14 ⁱ	5	30	11.04±0.54 ^b	173.93±0.15 ^d
3	抗疫白	65.93±0.09 ^f	5.5	40	7.72±0.54 ^e	166.77±0.91 ^e
4	克新 27	67.97±0.28 ^c	5.5	30	9.88±0.73 ^d	164.63±0.50 ^f
5	陇 14	64.87±0.21 ^e	5	7	7.76±0.31 ^e	166.83±1.19 ^e
6	LZ111	70.48±0.19 ^a	4.5	20	10.21±0.16 ^{bcd}	173.83±1.31 ^d
7	陇薯 9 号	64.68±0.17 ^g	5	10	11.04±0.18 ^b	184.7±0.36 ^b
8	陇薯 7 号	68.16±0.23 ^c	4	10	10.80±0.25 ^{bc}	188.73±0.40 ^a
9	LY08104-12	65.09±0.27 ^d	4.5	30	9.98±0.15 ^{cd}	175.47±1.26 ^c
10	陇薯 8 号	57.10±0.17 ^j	4	30	6.57±0.26 ^f	175.01±0.07 ^c
11	荷兰薯	68.20±0.12 ^b	3	17	10.19±0.34 ^{cd}	165.00±2.83 ^{ef}

序号	品种名称	硬度/g	咀嚼性/gmm	弹性/mm	内聚力	粘结性/gn
1	垦薯 1 号	524.32±42.87 ^{ab}	284.00±45.22 ^{cde}	1.43±0.12 ^{efg}	0.38±0.03 ^{bc}	4.05±0.83 ^d
2	布尔斑克	426.00±38.16 ^{cd}	317.29±31.61 ^{bcd}	1.42±0.10 ^{fg}	0.53±0.09 ^a	4.66±0.24 ^b
3	抗疫白	435.58±73.12 ^{cd}	345.32±77.87 ^{abc}	1.59±0.06 ^{bc}	0.50±0.02 ^a	3.65±0.67 ^c
4	克新 27	503.67±73.48 ^{abc}	402.75±44.32 ^a	1.55±0.07 ^{bcd}	0.52±0.04 ^a	4.26±0.98 ^c
5	陇 14	544.58±92.71 ^a	381.06±96.98 ^{ab}	1.55±0.07 ^{bcd}	0.45±0.08 ^{ba}	3.19±0.37 ^f
6	LZ111	444.42±52.81 ^{bcd}	357.78±56.33 ^{abc}	1.61±0.02 ^{ab}	0.50±0.04 ^a	4.75±0.56 ^b
7	陇薯 9 号	463.42±84.08 ^{bcd}	389.88±57.15 ^{ab}	1.69±0.05 ^a	0.51±0.06 ^a	4.99±0.44 ^b
8	陇薯 7 号	462.48±44.92 ^{bcd}	281.61±42.53 ^{cde}	1.51±0.07 ^{cde}	0.41±0.05 ^{bc}	5.03±0.13 ^a
9	LY08104-12	428.58±73.41 ^{cd}	244.80±53.13 ^{de}	1.48±0.04 ^{def}	0.39±0.08 ^{bc}	2.70±0.21 ^h
10	陇薯 8 号	458.17±59.77 ^{bcd}	231.93±79.15 ^e	1.38±0.06 ^g	0.36±0.10 ^c	2.93±0.33 ^g
11	荷兰薯	415.70±10.99 ^d	230.66±38.77 ^e	1.46±0.03 ^{efg}	0.39±0.05 ^{bc}	4.06±0.71 ^d

注:表中的小写字母为同一列的显著性差异(p<0.05)。

2.2 11 个品种马铃薯全粉面条品质特性的相关性分析

采用 SPSS 软件对 11 个品种马铃薯面条的 10 个品质指标进行相关性分析, 结果如表 3 所示。从表 3 中可以看出, ΔE^* 与弹性 ($r=0.594^*$), 最佳蒸煮时间与咀嚼性 ($r=0.748^{**}$)、内聚力 ($r=0.648^*$), 咀嚼性

与弹性 ($r=0.764^{**}$)、内聚力 ($r=0.836^{**}$), 弹性与内聚力 ($r=0.625^*$), 内聚力与粘结性 ($r=0.523^*$) 均呈显著或极显著的正相关, 说明马铃薯全粉面条品质评价指标间存在相关关联、相互制约的作用, 一些品质的改变可能导致另外一些品质的变化, 为了能更好的评价不同指标对面条品质的贡献作用更大, 不同品种面条的品质特性的差异, 将采用主成分分析进行接下来的分析。

表 3 马铃薯全粉面条品质特性相关系数

Table 3 The correlation coefficient of various qualities of potato noodle

	ΔE^*	最佳蒸煮时间	断条率	蒸煮损失率	膨胀率	硬度	咀嚼性	弹性	内聚力	粘结性
ΔE^*	1.000									
最佳蒸煮时间	-0.078	1.000								
断条率	-0.275	0.313	1.000							
蒸煮损失率	0.268	0.014	-0.297	1.000						
膨胀率	-0.112	-0.130	-0.413	0.415	1.000					
硬度	-0.069	0.438	-0.412	0.010	-0.070	1.000				
咀嚼性	0.334	0.748 ^{**}	-0.154	0.020	-0.143	0.447	1.000			
弹性	0.594 [*]	0.400	-0.284	0.044	0.104	0.083	0.764 ^{**}	1.000		
内聚力	0.284	0.648 [*]	0.146	0.096	-0.159	-0.048	0.836 ^{**}	0.625 [*]	1.000	
粘结性	0.415	0.041	-0.367	0.629	0.439	-0.100	0.389	0.411	0.523 [*]	1.000

注: ^{**}: $p<0.01$; ^{*}: $p<0.05$ 。

2.3 11 个品种马铃薯全粉面条品质特性的主成分分析

主成分分析是一种双线性的建模方法, 它可以通过一个多维的潜在的主成分来解释原有变量的信息。其中第一主成分涵盖了原有数据的大多数信息, 第二主成分与第一主成分相互垂直, 并且涵盖剩下多数信息, 依次类推。通过分析主成分载荷值和得分可以看出不同样品之间的关系, 也可以解释样品的特点、分组、相似性及差别^[31]。表 4 为面条品质特征的特征值及主成分的载荷值。前 4 个主成分的特征值均大于 1, 方差贡献率分别为 35.89%、23.51%、14.64% 和 11.73%, 累积贡献率为 85.77%, 综合了面条品质特性的主要信息^[32]。前 4 个主成分既降低了原始变量的复杂性, 也概括了原始数据的主要信息, 能很好的解释面条的品质特性, 可以采用前四个主成分进行接下来的分析。第一主成分中起主要作用的是咀嚼性、弹性、内聚力, 均具有正向的载荷值分别为 0.922、0.841 和 0.831, 命名为口感特性因子 (解释了变异性的 48.68%); 第二主成分中膨胀率、蒸煮损失率具有正向的载荷值, 分别为 0.703 和 0.653, 断条率具有较大的负向载荷值, 为-0.653, 命名为蒸煮特性因子 (解

释了变异性的 46.93%); 第三主成分中硬度具有最大的负向贡献作用, 载荷值为-0.904, 命名为硬度因子 (解释了变异性的 30.68%); 第四主成分中 ΔE^* 具有最大的负向贡献作用, 载荷值为-0.612, 命名为色泽因子 (解释了变异性的 20.63%)。在每个主成分中, 载荷值越高, 表明贡献性越大^[33]。表 4 中同样具有不同主成分分值及不同品种的综合主成分得分和整体排序。第一主成分中咀嚼性、弹性、内聚力对陇薯 9 号、克新 27 和 LZ111 具有较大的作用, 对陇薯 8 号、LY 08104-12 和荷兰薯具有较小的作用。第二主成分中膨胀率、蒸煮损失率、断条率对陇薯 7 号、荷兰薯、陇薯 9 号的解释作用较大, 而对抗疫白、克新 27、陇 14 号和陇薯 8 号的解释作用较小; 第三主成分中的硬度对抗疫白、荷兰薯、布尔斑克和 LZ 111 的解释作用较大, 对陇 14、垦薯 1 号的解释作用较小; 第四主成分中 ΔE^* 的对布尔斑克、垦薯 1 号的解释作用较大, 对荷兰薯和陇 14 的解释作用较小。

2.4 11 个品种马铃薯全粉面条的综合评价

通过主成分分析得知前四个主成分的累计贡献率为 85.77%, 反应了 10 个指标的大部分综合信息, 用这 4 个主成分评价 11 个马铃薯面条品质特性是可行的, 因此, 可用 Y_1 口感特性因子、 Y_2 蒸煮特性因子、

Y₃ 硬度特性因子和 Y₄ 色泽特性因子的 4 个新的综合值来代替原来的 10 个指标对马铃薯面条品质特性进行分析, 得到马铃薯面条的前 4 个主成分的线性关系式分别为:

$$Y_1=0.540*X_1+0.611*X_2-0.268*X_3+0.313*X_4+0.074*X_5+0.277*X_6+0.922*X_7+0.841*X_8+0.831*X_9+0.652*X_{10}$$

$$Y_2=0.284*X_1-0.595*X_2-0.653*X_3+0.653*X_4+0.703*X_5-0.180*X_6-0.327*X_7+0.02*X_8-0.302*X_9+0.582*X_{10}$$

$$Y_3=0.306*X_1-0.192*X_2+0.542*X_3+0.034*X_4-0.165*X_5-0.904*X_6-0.159*X_7+0.085*X_8+0.332*X_9+0.228*X_{10}$$

$$Y_4=0.612*X_1+0.418*X_2+0.344*X_3+0.379*X_4+0.437*X_5-0.054*X_6-0.026*X_7-0.289*X_8+0.183*X_9+0.224*X_{10}$$

以每个主成分对应的特征值的方差提取贡献率建立综合评价模型:

$$Y=0.418*Y_1+0.274*Y_2+0.171*Y_3+0.137*Y_4$$

计算不同品种马铃薯面条的综合评分。结果如表 4 所示, 综合得分前三位的分别是陇薯 9 号、LZ111、陇薯 7 号, 综合得分分别为 1.481, 0.971 和 0.783。说明这三个品种更加适合加工成面条; 综合主成分得分排在后两位的分别是陇薯 8 号和 LY08104-12, 其得分分别为-1.838 和-0.774, 说明这两个品种不适合加工面条。

3 结论

通过对 11 个品种马铃薯全粉面条品质特性进行分析, 发现不同品种面条品质特性差异显著, 相关性分析表明, ΔE*与弹性 (r=0.594*), 最佳蒸煮时间与咀嚼性 (r=0.748**), 内聚力 (r=0.648*), 咀嚼性与弹性 (r=0.764**), 内聚力 (r=0.836**), 弹性和内聚力 (r=0.625*), 内聚力与粘结性 (r=0.523*) 均呈显著或极显著的正相关。主成分分析提取 4 个主成分的累积贡献率为 85.77%, 解释原有数据的大多数信息, 通过口感特性、蒸煮特性、硬度特性和色泽特性等 4 个方面反映原有数据的信息, 并且各主成分之间没有相关性, 更好的体现各个指标对面条品质的影响。根据面条品质与主成分间的相关性, 建立主成分与面条品质特性间的关系模型, 计算不同品种马铃薯全粉面条品质特性的综合评分。最终得到 11 个品种马铃薯全粉面条品质特性的优劣顺序为陇薯 9 号、LZ111、陇薯 7 号、布尔斑克、克新 27、垦薯 1 号、抗疫白、荷兰薯、陇 14、LY08104-12、陇薯 8 号。通过该综合主成分得分可以有效地将 11 个品种加工面条品质进行区分。

表 4 前四个主成分载荷值和得分

Table 4 The loading and score of the first four principal component

性状	载荷值				品种名称	得分				排名	
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4		主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4		综合得分
ΔE*	0.540	0.284	0.306	-0.612	垦薯 1 号	-0.603	0.796	-1.673	1.191	-0.157	6
最佳蒸煮时间	0.611	-0.595	-0.192	0.418	布尔斑克	0.080	-0.271	1.059	2.023	0.417	4
断条率	-0.268	-0.653	0.542	0.344	抗疫白	0.645	-2.381	1.343	-0.069	-0.163	7
蒸煮损失率	0.313	0.653	0.034	0.379	克新 27	1.990	-1.647	0.005	-0.135	0.364	5
膨胀率	0.074	0.703	-0.165	0.437	陇 14	0.716	-1.314	-2.352	-1.421	-0.657	9
硬度	0.277	-0.18	-0.904	-0.054	LZ111	1.765	0.615	1.014	-0.797	0.971	2
咀嚼性	0.922	-0.327	-0.159	-0.026	陇薯 9 号	2.674	1.235	-0.314	0.562	1.481	1
弹性	0.841	0.002	0.085	-0.289	陇薯 7 号	0.153	2.784	-0.259	-0.002	0.783	3
内聚力	0.831	-0.302	0.332	0.183	LY08104-12	-1.912	-0.203	0.525	-0.037	-0.774	10
粘结性	0.652	0.582	0.228	0.224	陇薯 8 号	-3.628	-1.013	-0.586	0.422	-1.838	11
					荷兰薯	-1.873	1.400	1.237	-1.737	-0.426	8

参考文献

[1] Tierno R, Hornero-Méndez D, Gallardo-Guerrero L, et al. Effect of boiling on the total phenolic, anthocyanin and carotenoid concentrations of potato tubers from selected cultivars and introgressed breeding lines from native potato species [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 41: 58-65

[2] Arun K B, Chandran J, Dhanya R, et al. A comparative evaluation of antioxidant and antidiabetic potential of peel from young and matured potato [J]. Food Bioscience, 2015, 9(4): 36-46

[3] Ezekiel R, Singh N, Sharma S, et al. Beneficial phytochemicals in potato- a review [J]. Food Research International, 2013, 50(2): 487-496

[4] Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- FAO: statistical yearbook [EB/OL.] (2017) [2017-07-30], <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- [5] 杨帅, 闵凡祥, 高云飞, 等. 新世纪中国马铃薯产业发展现状及存在问题[J]. 中国马铃薯, 2014, 28(5): 311-316
YANG Shuai, MIN Fan-xiang, GAO Yun-fei, et al. Status quo and challenges of China potato industry of the 21st century [J]. China Potato Journal, 2014, 28(5): 311-316
- [6] 刘洋, 高明杰, 罗其友, 等. 世界马铃薯消费基本态势及特点[J]. 世界农业, 2014, 5: 119-124
LIU Yang, GAO Ming-jie, LUO Qi-you, et al. Analysis on the basic situation and characteristics of world potatoes consumption [J]. World Agriculture, 2014, 5: 119-124
- [7] Friedman M, Kobuyuki N, Kim H J, et al. Glycoalkaloid, phenolic, and flavonoid content and antioxidative activities of conventional nonorganic and organic potato peel powders from commercial gold, red, and Russet potatoes [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 62: 69-75
- [8] Ngobese N Z, Workneh T S, Alimi B A, et al. Nutrient composition and starch characteristics of eight European potato cultivars cultivated in South Africa [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 55: 1-11
- [9] 邓珍珠. 粉丝品质和耐煮增筋工艺的研究[D]. 成都: 西华大学, 2013
DENG Zhen-zhen. Study on the quality and boil-resisting process of starch vermicelli [D]. Chengdu: Xihua University, 2013
- [10] 谭洪卓, 谭斌, 刘明, 等. 甘薯粉丝生产中多糖胶与甘薯淀粉相互作用机理[J]. 食品科学, 2008, 29(5): 49-55
TAN Hong-zhuo, TAN Bing, LIU Ming, et al. Mechanism of interaction between polysaccharide gums and sweet potato starch in production of its noodles [J]. Food Science, 2008, 29(5): 49-55
- [11] 廖卢艳, 吴卫国. 不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 332-338
LIAO Lu-yan, WU Wei-guo. Relationship between gelatinization and gel properties of different starch and their noodles [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(15): 332-338
- [12] Ye X T, Sui Z Q. Physicochemical properties and starch digestibility of Chinese noodles in relation to optimal cooking time [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 84: 428-433
- [13] 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
XU Fen. Mechanism for effects of potato granules and its main components on potato noodle quality [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016
- [14] Liu X L, Mu T H, Sun H N, et al. Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and in vitro starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour [J]. Food Chemistry, 2018, 239: 1064-1074
- [15] 郭兴凤, 王瑞红, 崔会娟, 等. 大豆蛋白酶水解产物的水解度对小麦粉及面条品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(1): 12-16
GUO Xing-feng, WANG Rui-hong, CUI Hui-juan, et al. Effects of DH of soy protein hydrolyzates on the qualities of wheat flour and noodles [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(1): 12-16
- [16] 潘治利, 田萍萍, 黄忠民, 等. 不同品种小麦粉的粉质特性对速冻熟制面条品质的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 307-314
PAN Zhi-li, TIAN Ping-ping, GUANG Zhong-min, et al. Effects of flour characteristics of different wheat cultivars on quality of frozen cooked noodles [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(3): 307-314
- [17] 李玉龙, 杨焯, 陆国权. 基于均匀设计和主成分分析的甘薯薯片油炸工艺优化[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 223-230
LI Yu-long, YANG Ye, LU Guo-quan. Optimization of frying process for sweet potato chips based on uniform design and principal component analysis [J]. Food Science, 2017, 38(4): 223-230
- [18] 伍婧, 王远亮, 李珂, 等. 基于主成分分析的不同醒发条件下挂面的特征质构[J]. 食品科学, 2016, 37(21): 119-123
WU Jing, WANG Yuan-liang, LI Ke, et al. Evaluation of noodles made under different proofing conditions based on principal component analysis [J]. Food Science, 2016, 37(21): 119-123
- [19] Werteker M, Huber S, Kuchling S, et al. Differentiation of milk by fatty acid spectra and principal component analysis [J]. Measurement, 2017, 98: 311-320
- [20] Kalaycioğlu Z, Kaygusuz H, Döker S, et al. Characterization of Turkish honeybee pollens by principal component analysis based on their individual organic acids, sugars, minerals, and antioxidant activities [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 84: 402-408
- [21] Li M, Ma M, Zhu K X, et al. Delineating the physicochemical, structural, and water characteristic changes during the deterioration of fresh noodles: Understanding the deterioration mechanisms of fresh noodles [J]. Food

- Chemistry, 2016, 216: 374-381
- [22] Naresh K, Varakumar S, Variyar P S, et al. Effect of γ -irradiation on physico-chemical and microbiological properties of mango (*Mangifera indica* L.) juice from eight Indian cultivars [J]. Food Bioscience, 2015, 12: 1-9
- [23] 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
- [24] 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
- [25] 沈存宽. 马铃薯生全粉的制备及应用[D]. 无锡: 江南大学, 2016
- SHEN Cun-kuan. Preparation and application of raw potato flour [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016
- [26] Jang A, Kim J Y, Lee S Y. Rheological, thermal conductivity and microscopic studies on porous-structured noodles for shortened cooking time [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016
- [27] Tudorica C, Kuri V, Brennan C. Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(2): 347-356
- [28] Pu H Y, Wei J L, Wang L, 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
- [29] 陆启玉. 小麦面粉中主要组成对面条特性影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010
- LU Qi-yu. Effects of main components in wheat flour on noodle characteristics [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010
- [30] 陈东升, C Kiribuchi-Otobe, 徐兆华, 等. Waxy 蛋白缺失对小麦淀粉特性和中国鲜面条品质的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(5): 865-873
- CHEN Dong-sheng, C Kiribuchi-Otobe, XU Zhao-hua, et al. Effect of Wx-A1, Wx-B1 and Wx-D1 protein on starch properties and chinese fresh noodle quality [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(5): 865-873
- [31] CAMO Software AS, Nedre Vollgate 8, N-0158 OSLO, Norway. 1998
- [32] Jolliffe I T. Principal component analysis (2 Ed) [M]. New York: Springer, 2002
- [33] Wold S, Esbensen K, Geladi P. Principal component analysis [J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 1987, 2: 37-52