

基于主成分分析和质构分析的甘薯泥 品质综合评价

朱红, 孙健, 钮福祥*, 徐飞, 岳瑞雪, 张毅, 张文婷, 马晨, 王洪云

(江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 中国农业科学院甘薯研究所, 徐州 221131)

摘要: **目的** 利用主成分分析和综合评价建立方便、快捷的甘薯泥加工品质综合评价方法。**方法** 采用质构分析和多元统计学方法相结合, 对7个甘薯泥的基本成分和质构品质进行了相关性和主成分分析, 并进行综合评价。**结果** 不同品种甘薯泥的基本成分在淀粉含量和水分含量上都有显著差异($P<0.05$)。甘薯泥的基本成分、感官评分和质构品质指标间有部分指标呈显著的相关性, 其中淀粉含量与灰分含量呈极显著正相关, 与水分含量呈极显著负相关; 灰分含量与水分含量呈极显著负相关, 与胶粘性和咀嚼性呈极显著正相关; 水分含量与硬度、胶粘性和咀嚼性都呈显著负相关; 硬度与弹性、胶粘性和咀嚼性都呈极显著正相关; 感官评分与硬度、弹性、胶粘性和咀嚼性都呈极显著正相关。采用主成分分析法建立综合得分数学模型对不同品种甘薯泥品质进行综合评价, 甘薯泥品质得分由高到低依次是: 徐紫薯8号>湛紫薯2号>烟薯25>浙薯132>宁紫薯7号>徐薯34>普薯32。**结论** 基于主成分分析的综合评价是对甘薯泥的各种品质指标进行统计分析, 进而得到最佳的品质指标。因此该方法可以客观地反映甘薯泥的品质, 可用于不同品种甘薯泥加工适应性评价。

关键词: 甘薯泥; 质构分析; 相关性; 主成分分析; 综合评价

Comprehensive evaluation of sweet potato mud quality based on principal component analysis and texture analysis

ZHU Hong, SUN Jian, NIU Fu-Xiang*, XU Fei, YUE Rui-Xue, ZHANG Yi,
ZHANG Wen-Ting, MA Chen, WANG Hong-Yun

(Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Xuhuai District, Sweet Potato Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xuzhou 221131, China)

ABSTRACT: Objective To use principal component analysis and comprehensive evaluation to establish a convenient and fast comprehensive evaluation method for processing quality of sweet potato mud. **Methods** The correlation and principal component analysis of basic components and texture quality of 7 sweet potato mud were carried out by using texture analysis and principal component analysis method. **Results** There were significant differences in starch content and water content among different varieties of sweet potato mud ($P<0.05$), and

基金项目: 财政部和农业农村部资助国家现代农业产业技术体系项目(CARS-10-B22)、国家重点研发计划项目(2019YFD1001300、2019YFD1001302)、江苏省苏北专项(XZ-SZ202152)、徐州市科技项目(KC19243)

Fund: Supported by the Ministry of Finance and Ministry of Agriculture and Rural Affairs Funded the National Modern Agricultural Industrial Technology System (CARS-10-B22), the National Key Research and Development Program of China (2019YFD1001300, 2019YFD1001302), the Special Project of North Jiangsu Province (XZ-SZ202152), and the Science and Technology Project of Xuzhou City (KC19243)

*通信作者: 钮福祥, 硕士, 研究员, 主要研究方向为农产品加工。E-mail: niufuxiang@sina.com

*Corresponding author: NIU Fu-Xiang, Master, Professor, Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Xuhuai District, Xuzhou Xuhai Road High-speed Railway Station North Xuzhou Academy of Agricultural Sciences, Xuzhou 221131, China. E-mail: niufuxiang@sina.com

significant correlation among basic components, sensory score and texture quality of sweet potato mud. There was an extremely significant correlation among the indexes, starch content was significantly positively correlated with ash content and negatively correlated with water content, ash content was negatively correlated with water content, positively correlated with adhesiveness and chewiness; the moisture content was negatively correlated with hardness, adhesiveness and chewiness; and hardness was positively correlated with elasticity, adhesiveness and chewiness. Sensory score was positively correlated with hardness, elasticity, adhesiveness and chewiness. The comprehensive score mathematical model was established by principal component analysis to comprehensively evaluate the quality of different varieties of sweet potato mud, the scores of sweet potato mud quality from high to low were: Xuzishu8>Zhanzishu2>Yanshu25>Zheshu132>Ninzishu7>Xushu34>Pushu32. **Conclusion** The comprehensive evaluation based on principal component analysis is to make statistical analysis of various quality indexes of sweet potato mud, and then get the best. Therefore, this method can objectively reflect the quality of sweet potato mud, and can be used to evaluate the processing adaptability of different varieties of sweet potato mud.

KEY WORDS: sweet potato mud; texture profile analysis; correlation; principal component analysis; comprehensive evaluation

0 引言

甘薯含有丰富的膳食纤维、糖、维生素和矿物质等人体必需的重要营养成分,其中维生素 B₁ 和 B₂ 的含量分别比大米高 6 倍和 3 倍^[1],同时还具有抗癌、提高人体免疫力、抗衰老、延长寿命以及减肥、润肠、通便等保健功能^[2-4]。甘薯泥是新鲜甘薯经过挑选、清洗、去皮、切块、蒸煮、制泥等工艺过程制备而成的方便食品,因其特殊的风味和丰富的营养保健价值,深受广大消费者喜爱。

在甘薯的品质评价研究中,质地特性是衡量甘薯品质优劣的重要指标^[5],它不仅影响整个甘薯的感官品质^[6],还直接影响其食用品质及加工价值。目前,甘薯及加工产品的质地品质评价主要有感官评价和仪器测定两种方法。感官评价能最直接体现质地的品质,但受主观影响较大;仪器测定是通过使用质构仪等仪器设备,对样品进行测量和分析,将质地特性精确量化,准确评价食品的质地品质。全质构分析(texture profile analysis, TPA)可以很好地模拟食品在人体口腔中被二次咀嚼和吞咽过程,仪器通过信息采集可以得到硬度、弹性、粘附性、内聚性、胶粘性、咀嚼性等质地特性参数,从而对食品质地品质做出客观评价。因此,TPA 在食品领域得到了广泛应用^[7-9]。

目前,对薯泥产品的研究主要集中在薯泥加工工艺^[10-12]、薯泥馅月饼制作工艺^[13-14]、薯泥面包制作工艺^[15-16]、添加薯泥对产品质构品质的影响^[17-20]等方面,关于不同品种甘薯泥的基本成分和质构品质的相关性和综合评价方面的报道较少。本研究以不同品种甘薯泥为材料,测定其主要基本成分和质构品质指标,应用相关性和主成分分析法比较品质差异,再进行综合评价,建立甘薯泥品质的评价方法,

为甘薯泥的食用品质评价及适宜加工甘薯泥的品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

浙薯 132、烟薯 25、普薯 32、徐薯 34、宁紫薯 7 号、徐紫薯 8 号、湛紫薯 2 号 7 个品种甘薯,均由江苏徐淮地区徐州农业科学研究所提供。

1.2 仪器与设备

YDX-80 型蒸箱(山东省博兴县伊德欣厨业有限公司);JA3003 型电子天平(上海天平仪器厂);DHG-9246A 电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司);F6010CN 马弗炉(天津市华北试验电炉厂);UV-2450 型紫外分光光度计(日本岛津公司);KDY-9820 凯氏定氮仪(北京瑞邦兴业科技有限公司);TMS-PRO 物性质构仪(美国 Food Technology Corporation 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 甘薯泥的制备

选取无损伤、无发芽、无虫害、无腐烂的新鲜甘薯,清洗去皮,切成 3~5 mm 片状后放入蒸箱中蒸 20 min,冷却后捣成泥状,备用。

1.3.2 甘薯泥主要品质指标的测定

淀粉含量参照 GB/T 5009.9—2003《食品中淀粉的测定》测定;可溶性糖含量采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;蛋白质含量参照 GB/T 5009.5—2010《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》采用凯氏定氮法测定;灰分含量参照 GB/T 5009.4—2010《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》测定;水分含量参照 GB 5009.3—2016《食品安全国

家标准《食品中水分的测定》采用直接干燥法(105℃)测定。

1.3.3 甘薯泥感官评价

组织 10 位有食品感官鉴定经验的人员组成感官鉴定小组, 样本随机放置, 通过取样品尝鉴定。感官评定由每个评定成员独自进行, 互相不接触, 每个样品评定之间用凉开水漱口。其中, 各指标分值均为 10 分, 分值处理取 10 人评分的平均值。感官综合评分=色泽×10%+香味×20%+甜度×20%+质地×20%+粘性×20%+纤维量×10%, 感官评价标准^[21]见表 1。

表 1 甘薯泥感官评价标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of sweet potato mud

感官指标	性状	分值
色泽	色泽诱人	8~10
	色泽一般	5~7
	色泽暗沉或者发黑	1~4
香味	浓郁的特有甘薯香味	8~10
	淡淡的特有甘薯香味	5~7
	无甘薯香味或有异味	1~4
甜度	很甜	8~10
	较甜	5~7
	无甜味或有苦涩味	1~4
纤维感	润滑, 无纤维感	8~10
	纤维量适中	5~7
	纤维量明显	1~4
质地	入口绵软、有很好的粉质感	8~10
	软硬适中	5~7
	较软或较硬	1~4
黏性	无粘牙感	8~10
	有轻微粘牙感	5~7
	很粘牙	1~4

1.3.4 甘薯泥质构测定

质构品质测定采用美国 FTC 公司 TMS-PRO 物性测试仪在室温下对甘薯泥进行测定。称取 200 g 薯泥置于 50 mL 烧杯中, 选择直径 25.4 mm 的球形检测探头, 设置模式如下: 应用 TPA 模式, 测试速度为 30 mm/min, 变形百分量为 80%(即每次压缩到产品原来高度的 80%), 下降距离为 20 mm, 检测起始力为 0.5 N。测定指标有硬度、粘附性、内聚性、弹性、胶粘性 and 咀嚼性。每种样品 3 次重复, 取实验数据平均值。

1.4 统计分析

运用 Excel 2019 软件和 SPSS 25.0 统计分析软件进行数据处理、相关性分析及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种甘薯泥的主要基本成分

由表 2 可知, 不同品种甘薯泥的基本成分在水分、淀粉、可溶性糖、蛋白质和灰分含量上都存在差异, 其中徐紫薯 8 号薯泥的淀粉和灰分含量都最高, 而水分含量却最低; 烟薯 25 薯泥的淀粉、蛋白质和灰分含量都最低, 而水分和可溶性糖含量却最高, 可能是甘薯在蒸煮过程中部分淀粉转化为可溶性糖; 湛紫薯 2 号薯泥的可溶性糖和淀粉含量都较高, 而水分却较低。因此, 徐紫薯 8 号和湛紫薯 2 号是较好的制作甘薯泥的品种。

2.2 不同品种甘薯泥的感官评价

以色泽、香味、甜度、纤维感、质地、黏性和综合评分 7 个方面评价不同甘薯泥的感官品质(见表 3)。由表 3 可知, 不同品种的甘薯泥在不同感官评价指标中的得分均有差异, 其中烟薯 25 的色泽、香味、甜度和纤维感得分都最高, 徐紫薯 8 号的质地和黏性得分最高, 湛紫薯 2 号的综合得分最高。同时, 徐紫薯 8 号和湛紫薯 2 号的香味和甜度得分也较高。因此, 从感官评价整体来说, 徐紫薯 8 号和湛紫薯 2 号比较适合用于甘薯泥生产。

表 2 不同品种甘薯泥的基本成分

Table 2 Basic ingredients of different sweet potato mud cultivars

基本成分	浙薯 132	烟薯 25	普薯 32	徐薯 34	宁紫薯 7 号	徐紫薯 8 号	湛紫薯 2 号
淀粉/%	13.77±0.10 ^e	7.93±0.09 ^g	15.61±0.30 ^e	10.28±0.01 ^f	14.81±0.11 ^d	18.56±0.04 ^a	17.52±0.16 ^b
可溶性糖/%	8.85±0.07 ^c	11.58±0.41 ^a	8.02±0.01 ^e	8.36±0.03 ^d	8.65±0.05 ^{cd}	8.26±0.10 ^{de}	11.16±0.03 ^b
蛋白质/%	1.69±0.02 ^c	0.97±0.01 ^f	2.23±0.01 ^a	1.58±0.04 ^d	1.21±0.06 ^e	1.88±0.04 ^b	1.72±0.07 ^c
灰分/%	0.73±0.01 ^d	0.47±0.04 ^f	0.67±0.01 ^e	0.70±0.01 ^{de}	0.81±0.02 ^c	1.92±0.02 ^a	0.94±0.02 ^b
水分/%	72.57±0.35 ^c	76.20±0.57 ^a	68.96±0.14 ^e	74.16±0.07 ^b	71.00±0.71 ^d	63.23±0.57 ^e	64.92±0.14 ^f

注: 同一行中不同字母表示数据间差异显著($P<0.05$), 下同。

2.3 不同品种甘薯泥的质构分析

不同品种甘薯泥的质构品质分析如表 4 所示。从表 4 中可知,除了个别品种,其余品种甘薯的质构品质在硬度、胶粘性和咀嚼性上都有显著差异($P<0.05$),这与牛丽影等^[22]研究的不同品种紫薯的蒸煮质构特征的结论比较一致。徐紫薯 8 号的硬度最高,是普薯 32 的 3.73 倍;粘附性从数值上分析,高于 2.00 的有浙薯 132 和湛紫薯 2 号,低于 1.00 的有烟薯 25、宁紫薯 7 号和徐紫薯 8 号 3 个品种,普薯 32 和徐薯 34 没有差异($P>0.05$);不同品种甘薯泥的内聚性数值介于 0.58~0.73 之间,最高为徐紫薯 8 号;弹性值不同品种间差异明显,以徐紫薯 8 号最高为 4.08 mm,徐薯 34 最低,为 1.92 mm;对于胶粘性,除了徐薯 34,其余品种差异显著($P<0.05$),最高为徐紫薯 8 号,最低为普薯 32,咀嚼性数值差异明显,其中徐紫薯 8 号是普薯 32 的 8.27 倍。

综合 7 个品种的质构品质数值比较,可以发现徐紫薯 8 号的硬度、内聚性、弹性、胶粘性和咀嚼性都是最高值,而普薯 32、烟薯 25 的硬度、弹性、胶粘性和咀嚼性都较低,说明较高的硬度和弹性是徐紫薯 8 号质地的特点;而普薯 32 和徐薯 34 的质地较为柔软。

2.4 甘薯泥品质和质构指标相关性分析

不同品种甘薯泥的品质指标和质构指标相关性分析

见表 5。由表 5 可知,甘薯泥主要成分之间、质构品质之间和主要成分与质构品质之间都有较高的相关性。甘薯泥的淀粉含量与灰分含量呈极显著正相关,与水分含量呈极显著负相关;可溶性糖含量与蛋白质、内聚性呈显著负相关,与陈丽^[23]的研究中甘薯可溶性糖含量与 TPA 实验测定的内聚性达到极显著负相关结论一致;灰分含量与水分含量呈极显著负相关,与胶粘性和咀嚼性呈极显著正相关,水分含量与硬度、胶粘性和咀嚼性都呈显著负相关;硬度与弹性、胶粘性和咀嚼性都呈极显著正相关,与张毅等^[24]对东非不同肉色甘薯的块根综合评价的相关性结论一致。弹性与胶粘性和咀嚼性都呈极显著正相关,胶粘性与咀嚼性呈极显著正相关,感官评价与质构品质中的硬度、弹性、胶粘性和咀嚼性都呈极显著正相关。

2.5 不同品种甘薯泥的品质主成分分析

由表 6 可知,将 7 个甘薯品种的 5 个基本成分和 6 个质构品质指标转化为 6 个主成分,根据各主成分的特征值和方差贡献率进行主成分提取,前 3 个主成分的初始特征值分别为 5.421、2.717、1.819,均大于 1,并且累积方差贡献率为 90.518%,说明这 3 个成分反映了甘薯泥品质的绝大部分信息,因此选取前 3 个主成分代替原来的 11 个指标来评价甘薯泥品质。

表 3 不同品种甘薯泥的感官评价
Table 3 Sensory evaluation of different varieties of sweet potato mud cultivars

感官指标	浙薯 132	烟薯 25	普薯 32	徐薯 34	宁紫薯 7 号	徐紫薯 8 号	湛紫薯 2 号
色泽	7.91±0.09 ^{ab}	8.53±0.28 ^a	8.29±0.06 ^{ab}	7.93±0.08 ^{ab}	7.75±0.25 ^{bc}	7.25±0.25 ^c	8.23±0.08 ^{ab}
香味	6.65±0.15 ^c	8.55±0.05 ^a	6.68±0.18 ^c	6.68±0.18 ^{de}	6.65±0.15 ^c	7.25±0.25 ^{bc}	7.91±0.40 ^{ab}
甜度	7.25±0.25 ^{bc}	8.65±0.15 ^a	6.93±0.58 ^c	7.13±0.33 ^c	7.25±0.25 ^{bc}	7.55±0.05 ^{bc}	8.30±0.20 ^{ab}
纤维感	7.50±0.01 ^{ab}	8.25±0.25 ^a	7.43±0.08 ^{ab}	6.83±0.03 ^b	7.75±0.75 ^{ab}	8.05±0.45 ^{ab}	7.75±0.25 ^{ab}
质地	7.50±0.01 ^b	6.40±0.10 ^d	6.78±0.08 ^{cd}	6.35±0.15 ^d	7.25±0.25 ^{bc}	8.79±0.07 ^a	7.75±0.25 ^b
黏性	7.51±0.01 ^b	7.08±0.03 ^b	6.30±0.30 ^c	7.25±0.25 ^b	7.25±0.25 ^b	8.85±0.10 ^a	8.30±0.20 ^a
综合评分	7.32±0.07 ^c	7.81±0.04 ^b	6.91±0.01 ^d	6.96±0.03 ^d	7.23±0.07 ^c	8.02±0.10 ^{ab}	8.05±0.07 ^a

表 4 不同品种甘薯泥的质构品质分析
Table 4 Texture profile analysis of different sweet potato mud cultivars

质构指标	浙薯 132	烟薯 25	普薯 32	徐薯 34	宁紫薯 7 号	徐紫薯 8 号	湛紫薯 2 号
硬度/N	3.54±0.18 ^d	5.28±0.25 ^c	1.99±0.05 ^f	2.44±0.05 ^e	2.79±0.13 ^e	7.43±0.05 ^a	6.63±0.26 ^b
粘附性/(N*mm)	2.80±0.04 ^a	0.48±0.09 ^c	1.84±0.01 ^b	1.58±0.12 ^b	0.37±0.01 ^c	0.55±0.04 ^c	2.84±0.32 ^a
内聚性	0.70±0.01 ^{ab}	0.64±0.01 ^{cd}	0.67±0.02 ^{bc}	0.63±0.01 ^{cd}	0.68±0.01 ^{bc}	0.73±0.02 ^a	0.58±0.03 ^d
弹性/mm	3.41±0.02 ^b	3.01±0.09 ^c	2.02±0.06 ^d	1.92±0.04 ^d	3.39±0.08 ^b	4.08±0.06 ^a	3.31±0.15 ^b
胶粘性/N	2.47±0.12 ^d	3.37±0.15 ^c	1.33±0.03 ^f	1.53±0.03 ^{ef}	1.90±0.12 ^c	5.43±0.15 ^a	3.87±0.17 ^b
咀嚼性/mj	8.47±0.39 ^c	10.13±0.69 ^b	2.68±0.10 ^c	2.95±0.04 ^c	6.44±0.33 ^d	22.18±0.38 ^a	12.83±1.16 ^b

表 5 甘薯泥品质和质构指标相关性
Table 5 Correlation between quality and texture of sweet potato mud

品质指标	淀粉	可溶性糖	蛋白质	灰分	水分	硬度	粘附性	内聚性	弹性	胶粘性	咀嚼性
淀粉	1										
可溶性糖	-0.328	1									
蛋白质	0.658*	-0.562*	1								
灰分	0.712**	-0.323	0.371	1							
水分	-0.947**	0.172	-0.613*	-0.801**	1						
硬度	0.346	0.514	-0.110	0.628*	-0.548*	1					
粘附性	0.215	0.012	0.518	-0.212	-0.126	-0.169	1				
内聚性	0.146	-0.642*	0.185	0.353	-0.017	-0.199	-0.215	1			
弹性	0.440	0.162	-0.206	0.635*	-0.444	0.710**	-0.260	0.312	1		
胶粘性	0.369	0.351	-0.072	0.738**	-0.551*	0.967**	-0.251	0.046	0.788**	1	
咀嚼性	0.453	0.196	-0.015	0.822**	-0.598*	0.914**	-0.282	0.191	0.852**	0.982**	1
感官评分	0.295	0.628*	-0.207	0.509	-0.483	0.968**	-0.135	-0.251	0.732**	0.917**	0.860**

注: **表示极显著相关($P < 0.01$); *表示显著相关($P < 0.05$)。

表 6 主成分的初始特征值、方差贡献率和累计方差贡献率

Table 6 Initial eigenvalues, contribution rates of variance and cumulative contribution rates of variance of principal components

主成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	5.421	49.285	49.285	5.421	49.285	49.285
2	2.717	24.699	73.984	2.717	24.699	73.984
3	1.819	16.533	90.518	1.819	16.533	90.518
4	0.529	4.810	95.328			
5	0.380	3.450	98.779			
6	0.134	1.221	100.000			
7	2.470E-16	2.246E-15	100.000			
8	1.552E-16	1.411E-15	100.000			
9	1.155E-16	1.050E-15	100.000			
10	7.612E-17	6.920E-16	100.000			
11	-9.113E-16	-8.285E-15	100.000			

表 7 为主成分在各指标上的因子载荷矩阵, 该矩阵反映了品质指标对此主成分负荷相对大小和作用的方向, 即该指标对主成分的影响程度。由表 7 可以看出, 主成分 1 载荷值较高且符号为正的指标为淀粉、灰分、硬度、弹性、胶粘性 and 咀嚼性, 这 6 个指标对主成分 1 产生正向影响; 载荷值较高且符号为负的指标有水分, 载荷值为-0.834, 对主成分 1 产生负向影响, 说明主成分 1 越大, 淀粉、灰分、硬度、弹性、胶粘性 and 咀嚼性越高, 而水分含量会越低, 其他品质特性基本不变。同理, 在主成分 2

中, 载荷值较高且为正值是可溶性糖(0.863), 载荷值较高且为负值的是蛋白质(-0.856); 在主成分 3 中正向影响较大且载荷值较大的是粘附性(0.803), 负向影响较大且载荷值较大的是内聚性(-0.759)。

2.6 不同甘薯泥品质的综合评价

根据主成分的特征向量和标准化后的数据可得到 3 个主成分的得分函数表达式:

$$F_1 = 0.136X_1 - 0.001X_2 + 0.048X_3 + 0.170X_4 - 0.154X_5 + 0.156X_6 - 0.021X_7 + 0.007X_8 + 0.151X_9 + 0.167X_{10} + 0.176X_{11};$$

表 7 主成分在各品质指标上的因子载荷矩阵
Table 7 Factor load matrix of principal component on each quality index

品质指标	主成分		
	1	2	3
淀粉	0.737	-0.532	0.245
可溶性糖	-0.006	0.863	0.466
蛋白质	0.261	-0.856	0.330
灰分	0.923	-0.220	-0.189
水分	-0.834	0.374	-0.304
硬度	0.843	0.466	0.219
粘附性	-0.116	-0.317	0.803
内聚性	0.378	-0.376	-0.759
弹性	0.819	0.305	-0.175
胶粘性	0.905	0.377	0.047
咀嚼性	0.952	0.271	-0.050

$$F_2 = -0.196X_1 + 0.318X_2 - 0.315X_3 - 0.081X_4 + 0.138X_5 + 0.171X_6 - 0.117X_7 - 0.138X_8 + 0.112X_9 + 0.139X_{10} + 0.100X_{11};$$

$$F_3 = 0.135X_1 + 0.256X_2 + 0.182X_3 - 0.104X_4 - 0.167X_5 + 0.120X_6 + 0.442X_7 - 0.417X_8 - 0.096X_9 + 0.026X_{10} - 0.028X_{11}。$$

主成分因子的权重=因子贡献率/入选因子的累积贡献率, 从而建立综合得分数学模型, $F = 0.545F_1 + 0.273F_2 + 0.183F_3$ 。

根据综合得分模型计算不同品种甘薯泥品质的综合得分, 结果如表 8 所示。综合得分越高, 说明该品种的甘薯泥的综合品质越好。由表 8 中可以看出, 综合得分大于 0 的有 3 个品种, 依次是徐紫薯 8 号、湛紫薯 2 号、烟薯 25; 得分小于 0 的有 4 个品种, 分别为浙薯 132、宁紫薯 7 号、徐薯 34、普薯 32。因此综合考虑不同品种甘薯泥的品质和质构品质指标, 得到徐紫薯 8 号的综合得分最高, 说明徐紫薯 8 号最适合用于甘薯泥加工。

表 8 不同品种甘薯泥品质综合评价得分
Table 8 Comprehensive evaluation score of different varieties of sweet potato mud quality

品种	F_1	F_2	F_3	F	排名
浙薯 132	-0.155	-0.341	0.023	-0.173	4
烟薯 25	-0.503	1.856	-0.390	0.161	3
普薯 32	-0.613	-1.443	0.261	-0.681	7
徐薯 34	-1.044	-0.275	-0.071	-0.657	6
宁紫薯 7 号	-0.249	0.041	-1.025	-0.312	5
徐紫薯 8 号	1.955	-0.283	-0.813	0.839	1
湛紫薯 2 号	0.609	0.447	2.016	0.823	2

3 结论与讨论

本研究利用主成分分析和多元统计学方法相结合的手段, 发现 7 个不同品种甘薯泥的基本成分在水分含量和淀粉含量上都有显著差异($P < 0.05$); 不同品种甘薯泥质构品质部分指标之间存在明显的差异和较高的相关性, 其中硬度和咀嚼性差异较大。

通过主成分分析, 建立了直观的甘薯泥品质综合评价模型, 得到不同品种甘薯泥品质特性的综合评分, 实验结果证明基于主成分分析的综合评价可以用于甘薯泥加工品种的筛选提供。本研究仅针对甘薯泥的基本成分指标和质构指标等 11 个品质指标来评价 7 个品种甘薯泥的品质特性, 可以看到不同薯肉的不同品种甘薯泥品质差异较大, 而相同薯肉颜色的不同品种间甘薯泥的品质也有较大差异(如烟薯 25 和普薯 32 之间, 宁紫薯 7 号和徐紫薯 8 号之间)。因此, 在今后的研究过程中可以在增加品种量和品质指标上作进一步研究, 为甘薯泥品质综合评价提供更加科学和直观的理论依据。

参考文献

- 赵秀玲. 甘薯的营养成分与保健作用[J]. 中国食物与营养, 2008, (10): 58-60.
ZHAO XL. Nutritional value and health function of sweet potato [J]. Food Nutr China, 2008, (10): 58-60.
- 刘国强, 赵海, 李星, 等. 甘薯的保健功能及药用价值研究进展[J]. 农产品加工, 2021, (2): 74-77.
LIU GQ, ZHAO H, LI X, et al. Research progress on health function and medicinal value of sweet potato [J]. Farm Prod Proc, 2021, (2): 74-77.
- 郭祖锋, 李哲斌, 安亚平. 甘薯的营养价值与保健功能[J]. 农产品加工, 2012, (8): 61-63.
GUO ZF, LI ZB, AN YP. Nutritional value and health function of sweet potato [J]. Farm Prod Proc, 2012, (8): 61-63.
- 徐梦瑶, 赵祥颖, 张立鹤, 等. 甘薯的营养价值及保健作用[J]. 中国果菜, 2017, 37(5): 17-21, 47.
XU MY, ZHAO XY, ZHANG LH, et al. The nutritional value and health care function of sweet potato [J]. China Fruit Veget, 2017, 37(5): 17-21, 47.
- 薛冠炜, 李臣, 黄静艳, 等. 甘薯及其加工产品的质地研究进展[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(4): 609-612, 616.
XUE GW, LI C, HUANG JY, et al. Texture research progress of sweet potatoes and their processing products [J]. Zhejiang Agric Sci, 2018, 59(4): 609-612, 616.
- LEIGHTON CS, SCHONFELDT HC, KRUGER R. Quantitative descriptive sensory analysis of five different cultivars of sweet potato to determine sensory and textural profiles [J]. J Sens Stud, 2010, 25(1): 2-18.
- 杨焯, 俞涵琛, 陆国权. 熟化方法对迷你甘薯品质和质构特性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 45-50.
YANG Y, YU HC, LU GQ. Effect of aging method on texture characteristics on quality of mini sweet potato [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(8): 45-50.
- 罗斌, 赵有斌, 尹学清, 等. 质构仪在果蔬品质评定中应用的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(5): 209-213.

- LUO B, ZHAO YB, YIN XQ, *et al.* Application progress of texture analyzer in the research of fruit and vegetable quality evaluation [J]. Food Res Dev, 2019, 40(5): 209–213.
- [9] 刘亚平, 李红波. 物性分析仪及TPA在果蔬质构测试中的应用综述[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2010, 30(2): 188–192.
LIU YP, LI HB. Review on the application of texture analyzer and TPA in the assessment for fruits and vegetables texture [J]. J Shanxi Agric Univ (Nat Sci Ed), 2010, 30(2): 188–192.
- [10] 徐飞, 李洪民, 张爱君, 等. 甘薯泥的开发及利用[J]. 江苏农业科学, 2010, (3): 332–334.
XU F, LI HM, ZHANG AIJ, *et al.* Development and utilization of sweet potato mud [J]. Jiangsu Agric Sci, 2010, (3): 332–334.
- [11] 李博, 雷激, 汤富蓉, 等. 紫甘薯泥制作工艺的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(4): 81–86.
LI B, LEI J, TANG FR, *et al.* Study on the process of the purple sweet potato mud [J]. Food Sci Technol, 2011, 36(4): 81–86.
- [12] 高林, 刘妍, 廖小军, 等. 紫薯泥产品开发和贮藏期品质研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(16): 193–197.
GAO L, LIU Y, LIAO XJ, *et al.* Development of purple sweet potato processed products and its qualities on storage life [J]. Food Res Dev, 2016, 37(16): 193–197.
- [13] 袁利鹏, 刘波, 黄梓钊, 等. 紫薯冰皮月饼的皮料工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(9): 4096–4098.
YUAN LP, LIU B, HUANG ZT, *et al.* Technological study on the crust of the crystal mooncake making with purple sweet potato [J]. J Anhui Agric Sci, 2013, 41(9): 4096–4098.
- [14] 魏建春. 低糖蛋沙薯泥馅月饼的研制[J]. 郑州牧业工程高等专科学校学报, 2003, 23(1): 6–7.
WEI JC. Development of low-sugar moon cakes made with egg yolks and sweet potatoes [J]. J Zhengzhou Anim Husb Eng Coll, 2003, 23(1): 6–7.
- [15] 林娟娟, 陈宝明, 林建城, 等. 红薯紫薯夹心面包的研制[J]. 农产品加工, 2015, 394(10): 14–16, 24.
LIN JJ, CHEN BM, LIN JC, *et al.* Development of sweet potato and purple sweet potato's sandwich [J]. Farm Prod Proc, 2015, 394(10): 14–16, 24.
- [16] 徐静, 杨健. 紫薯泥吐司面包制作工艺[J]. 宜春学院学报, 2016, 38(3): 82–87.
XU J, YANG J. The making technology of purple sweet potato mud toast [J]. J Yichun Univ, 2016, 38(3): 82–87.
- [17] 张凤婕, 张天语, 曹燕飞, 等. 甘薯泥对面团流变特性及馒头品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(6): 1–5.
ZHANG FJ, ZHANG TY, CAO YF, *et al.* The effects of mashed sweet potato on rheological quality of dough and quality of steamed bread [J]. Food Res Dev, 2020, 41(6): 1–5.
- [18] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 马铃薯薯泥米粉营养分析及品质评价[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(8): 142–148.
WEI P, YOU XR, ZHANG YY, *et al.* Analysis of nutritional components and evaluation of quality of potato mud rice noodles [J]. Food Res Dev, 2020, 41(8): 142–148.
- [19] 邹光友, 杨健, 张盛署, 等. 红薯薯泥对挤出重组方便品质影响的主成分分析[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(4): 44–49.
ZOU GY, YANG J, ZHANG SS, *et al.* Principal component analysis of the effect of sweet potato puree on the quality of extruded reconstituted instant noodles [J]. Food Ferment Sci Technol, 2020, 56(4): 44–49.
- [20] 范会平, 许梦言, 马静一, 等. 不同品种甘薯生湿面条品质特性及加工适宜性分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24): 111–118.
FAN HP, XU MY, MA JY, *et al.* Analysis of the quality characteristics and processing suitability of different varieties of sweet potato raw wet noodles [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(24): 111–118.
- [21] 杨妍. 马铃薯泥品质影响因素的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
YANG Y. The study of influence factors on potato purees quality [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [22] 牛丽影, 万玉炜, 李大婧, 等. 不同品种紫薯的质构特征比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(7): 96–104.
NIU LY, WAN YW, LI DJ, *et al.* Texture comparison of different purple sweet potato cultivars [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(7): 96–104.
- [23] 陈丽. 甘薯块根质构特性的评价研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013.
CHEN L. Evaluation of the texture characteristics of sweet potato roots [D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2013.
- [24] 张毅, TAWANDA MUZHINGI, 岳瑞雪, 等. 东非不同肉色甘薯的营养品质分析与综合评价[J]. 江苏师范大学学报, 2020, 8(5): 42–47.
ZHANG Y, TAWANDA M, YUE RX, *et al.* Nutritive quality analysis and comprehensive evaluation of sweet potato with different flesh colors in East Africa [J]. J Jiangsu Norm Univ, 2020, 38(5): 42–47.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



朱红, 副研究员, 主要研究方向为甘薯产后加工。
E-mail: zhuh-135@163.com



钮福祥, 硕士, 研究员, 主要研究方向为农产品加工。
E-mail: niufuxiang@sina.com