

马铃薯粉品质特性研究进展

王丽, 李淑荣, 句荣辉, 王辉, 汪慧华, 贾红亮, 潘妍, 田文静

(北京农业职业学院食品与生物工程系, 北京 102442)

摘要: 马铃薯粉营养丰富, 是主粮产品的良好原料, 以马铃薯粉为原料开发了面条、面包、馒头等产品, 改善了产品的感官品质。本文以马铃薯粉为分析对象, 综述了马铃薯粉的蛋白质、脂类、淀粉等基本化学组成特征; 分析了马铃薯粉的质量密度、pH值、膨胀性和持水性、持油性等物理特性; 阐述了马铃薯粉的流变学特性、黏度特性、热力学特性和微观结构特性等加工品质; 剖析了马铃薯基本化学组成、物理特性及加工品质特性间的相关关系; 展望了马铃薯粉未来的发展方向。

关键词: 马铃薯粉; 淀粉; 物理特性; 加工品质

文章编号: 1673-9078(2021)05-332-337

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.5.0917

Research Progress on the Quality Characteristics of Potato Flour

WANG Li, LI Shu-rong, JU Rong-hui, WANG Hui, WANG Hui-hua, JIA Hong-liang, PAN Yan, TIAN Wen-jing

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

Abstract: Potato flour is rich in nutrients and is a good raw material for staple food products. Potato flour is used as the raw material to develop noodles, bread, steamed bun and other products, and improves the sensory quality of the products. In this paper, potato flour was used as the analysis object, the characteristics of the basic chemical composition of potato flour, such as protein, lipid and starch, were reviewed. The physical properties of potato flour, such as mass density, pH value, swell property, water-holding capacity and oil-holding capacity were analyzed. The rheological properties, viscosity, thermodynamic properties and microstructural characteristics of potato flour were described. The correlation among the basic chemical composition, physical properties and processing quality characteristics of potato was analyzed. An outlook on future development direction of potato flour was provided.

Key words: potato flour; starch; physical property; processing quality

引文格式:

王丽,李淑荣,句荣辉,等.马铃薯粉品质特性研究进展[J].现代食品科技,2021,37(5):332-337,+270

WANG Li, LI Shu-rong, JU Rong-hui, et al. Research progress on the quality characteristics of potato flour [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(5): 332-337, +270

马铃薯在世界各地种植广泛, 每年全球产量为3.68亿吨, 其中中国产量占比约四分之一, 位居世界首位。目前马铃薯与小麦、水稻、玉米一起被称为世界四大农产品, 也是世界五大农作物之一。马铃薯富含淀粉、蛋白质、矿物质、脂类、维生素、酚类和生物碱等重要的营养成分^[1], 但马铃薯水分含量约有70%以上, 常温贮藏易于发芽, 产生毒素, 因此常被加工成粉末以减少水分来降低运输成本, 保证食品安全; 以马铃薯粉为原料也已开发出面条、面包、馒头、

收稿日期: 2020-10-06

基金项目: 北京市教委科技一般项目(KM201612448005); 北京农业职业学院院级项目(XY-YF-19-18)

作者简介: 王丽(1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品质量与食品安全

通讯作者: 句荣辉(1978-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品质量安全检测

蛋糕、松饼、饼干、膨化点心、汤等产品^[2,3]。马铃薯的农艺性状、化学性状和理化性状的多样性可以改善马铃薯粉的品质特性^[1,3], 进而改善马铃薯粉相关产品的品质特性, 马铃薯基因型的鉴定和筛选是马铃薯理想功能和独特性的必要条件。本文以马铃薯粉为分析对象, 归纳总结马铃薯粉的基本化学组成、物理特性、加工品质特性以及各品质特性之间的相互关系, 为马铃薯粉更好的加工利用提供一定的依据。

1 马铃薯粉的基本化学组成

马铃薯粉的化学组成直接受马铃薯品质特性的影响, 也受天气条件、基因变化、品种培育技术和土壤条件等影响。研究表明, 不同品种马铃薯粉品质特性差异显著, 并将直接影响到马铃薯加工产品的质量, 具体内容见表1。

表1 马铃薯粉中化学组成及作用

Table 1 Chemical composition and function of potato powder

化学组成	范围	作用	参考文献
水分	9.36%~10.95%	预测马铃薯粉稳定性和贮藏性非常重要的指标。	Ndangui ^[4]
直链淀粉/ 支链淀粉	0.14~0.31	预测粉末流变学特性的重要指标。	Tambo ^[6]
蛋白质	9.95%~11.55%	对马铃薯粉的品质及加工产品的质量有重要的影响。	Klang ^[5]
脂类	2.19%~3.13%	不同样品脂类含量有差异的主要原因是检测过程中过滤导致的脂类变化,或在处理过程中由于温度的升高导致脂类的氧化	Klang ^[5] , Klang ^[5] , Igbokwe Akubor ^[7] , Haile ^[8]
灰分	4.50%~8.50%	与加工产品质量密切相关。	Olatunde ^[9]
磷	70.00~190.00 mg/100 g	与加工产品质量密切相关。	Zhu ^[10]
酚类化合物	198.81~301.59 mg/100 g	影响马铃薯粉产品的抗氧化性,也可以影响到马铃薯粉的颜色。	Klang ^[5]

2 马铃薯粉的物理特性

2.1 质量密度

是决定原料用于加工成不同包装方式和不同摄入量食品的重要依据^[11]。Klang^[5]研究结果显示质量密度和食物摄入量具有相反的作用,质量密度的变化范围是0.60~0.70 g/mL,不同品种间差异不显著。

2.2 pH 值

影响着马铃薯粉的功能特性,如食品的可消化性,持水性和持油性及食品的可接受性,不同品种马铃薯粉的pH值变化范围是5.00~5.70,而食品的最佳pH值推荐值为6.00~6.80^[11],因此马铃薯粉可以和碱性食品混合加工使用。

2.3 持水性/持油性

该指标主要与碳水化合物和蛋白质在乳化液中油水界面的吸附能力有关^[12],反映了油水的结合能力。持水和持油的能力越好对复杂的食品体系越有利,如甜甜圈、蛋糕、麦片粥。Mingle^[11]研究结果显示不同品种持水性/持油性比值的范围是1.41~1.70,并发现马铃薯粉中高碳水化合物含量使得马铃薯粉对水分的固定性大于对油的。

2.4 膨胀性

即淀粉颗粒聚合物的非晶态和晶态区域的内聚力强度^[13],淀粉颗粒膨胀性的增加与内聚力强度增加呈负相关^[14]。Klang^[5]研究结果表明,淀粉颗粒的膨胀性在30.00℃~50.00℃没有发生明显的变化。主要原因是淀粉分子之间的氢键阻碍了淀粉和水分子之间氢键

的结合,进而使得膨胀性没有发生变化。另外非碳水化合物如蛋白质、脂类和纤维与淀粉分子的羟基相互作用,阻碍了与水分子的结合性和膨胀性^[15]。

3 马铃薯粉的加工品质

3.1 流变学特性

在加热过程中,马铃薯粉的动态模量(G')和损耗模量(G'')升高到一定温度后降低, G' 表征体系的弹性, G'' 表征体系的黏性,表明马铃薯粉的弹性和黏性随着温度的升高先增加后降低,这在很大程度上是由于淀粉颗粒的膨胀和随后的塌陷导致的。在冷却过程中,由于糊化淀粉分子的重新排序, G' 增加。研究表明马铃薯粉的 G' 、 G'' 比玉米粉高,这可能是由于在玉米粉中存在脂质和玉米淀粉颗粒较硬的性质。马铃薯粉的 G' 的变化范围是2467.00~3383.00 Pa, G'' 的变化范围是593.00~739.00 Pa,损耗因子($\tan\delta$ 为损耗模量与动态模量的比值)的变化范围是0.22~0.25,该值越小,表明弹性越强,该值越大,说明黏性越大;动态粘度(η')的变化范围是4.58~11.15 Pa·s,该值越大,表明流动性越大。不同品种 G' 、 G'' 和 η' 的数值差异显著,这些差异可能是由于它们的天然颗粒大小和形状的不同。马铃薯粉中大淀粉颗粒的存在可能是造成 G' 和 G'' 值高于玉米粉的原因^[10]。

马铃薯粉中具有较低的转变温度(起始温度 T_0 、峰值温度 T_p 、结束温度 T_c)而具有较高的糊化焓(ΔH_{gel}),淀粉的高转变温度是由于较高的结晶度,这提供了结构稳定性,并使颗粒更难以凝胶化,这可能影响了淀粉颗粒的膨胀性,从而引起了马铃薯粉流变学性质的变化。马铃薯粉含有较多数量的小颗粒可能是导致具有低的 G' 、 G'' 和 η' 的原因。马铃薯粉的 $\tan\delta$

随着频率的增加而降低。高 G' 、 G'' 和 η' 和低的 $\tan\delta$ 表明淀粉颗粒具有更硬的黏度结构。马铃薯淀粉的流变性与颗粒结构、直链淀粉与支链淀粉的比例以及磷酸盐酯的存在有关^[16]。

3.2 黏度特性

马铃薯粉的黏度特性（如糊化温度、峰值黏度、保持黏度、衰减值、最低黏度、回升值、稳定性、回升率等）主要用于估算产品的黏度和烹饪特性，也用于归纳总结食品配方中马铃薯粉的功能特性。马铃薯粉的糊化温度一般与淀粉的颗粒大小、直链淀粉/支链淀粉比值和淀粉-脂类或淀粉-蛋白质的相互作用有关，为食品加工和凝胶化的最低温度提供一定的信息^[17]。Shimelis^[18]研究发现，马铃薯粉的糊化温度为 70.90 °C~77.87 °C，Eke-Ejiofor^[19]研究发现木薯粉的糊化温度为 70.20 °C，木薯比马铃薯中含有更低的蛋白质和脂类，降低了淀粉-脂类或淀粉-蛋白质的相互作用而使得木薯粉的糊化温度较低。Tumwine^[20]研究发现谷物中含有大量酚类化合物，可能会阻碍淀粉分子的热量转换，进而影响谷物的糊化。

峰值黏度表征马铃薯粉中直链淀粉含量、持水能力和淀粉膨胀性的重要指标^[21]，也预示着淀粉在凝胶形成过程中达到最大的粘度值。Klang^[5]研究发现不同品种马铃薯粉的峰值黏度的变化范围是 550.00 cP~3990.50 cP，其中直链淀粉含量高的品种具有较高的峰值黏度，不同品种峰值黏度差异显著的主要原因是磷、直链淀粉、脂类和蛋白质组成，山药淀粉的研究也得到的同样的结论^[22]。Tumwine^[20]研究发现直链淀粉的含量较低的品种具有较低的峰值黏度，而直链淀粉是对持水性和膨胀性有主要作用的物质。具有较低的峰值黏度更加适合婴幼儿食品的配方，而具有较高峰值黏度的品种更加适合蛋糕和面包的配方。

最终黏度是指经过一定温度保持后的黏度，该指标也表征了淀粉稳定性，间接的提供了直链淀粉/支链淀粉比值的信息^[23]。Tumwine^[20]研究发现，马铃薯粉最终黏度的变化范围是 1053.00~4543.00 cP，最终黏度偏小的主要原因是淀粉颗粒被破坏，导致凝胶化温度早已经达到，说明最终黏度高的样品可能更适合用于加工面包和熟食肉制品。

衰减值指淀粉凝胶化后黏度的降低程度，该降低程度可以预测面团凝固和被酶消化的难易程度^[24]。从研究结果可以看出，衰减降低较小的样品更加适合加工婴幼儿食品，因为它们具有较低的黏性并易于消化吸收^[25]。

回升值与直链淀粉含量和链长呈正相关^[26]。该指

标是反映淀粉的降解程度或者是淀粉经糊化后，舒展的分子链重新定向排列，形成微晶结构的过程。该指标进一步证实衰减值。Tumwine^[20]研究结果显示，不同样品回升值的变化范围是 503.00 cP~1762.00 cP，该指标表明样品在处理过程中直链淀粉降解作用程度，低的回升值意味着低的降解程度，因此更加适合作为婴幼儿食品的配方。

保持黏度指剪切最后阶段的黏度，不同样品间的变化范围为 0.00~3198.00 cP，各样品差异显著的主要原因是膨胀淀粉颗粒化学键的稳定性、营养组成的差异所导致的，尤其是蛋白质和脂类保护了淀粉颗粒，使得淀粉在糊化阶段很难被水解。高的剪切力值意味着膨胀的淀粉可以抵挡低的温度变化和剪切力^[27]。

回生率和稳定性是表征淀粉能力的重要指标，因此给维持淀粉结构和加工利用提供了很好的建议。回生率的减少可能归因于直链淀粉分子中 α -1 \rightarrow 4 糖苷键在加工过程中的水解而减少。另外研究发现具有高回升率的样品受其中直链淀粉含量的比例影响，使得样品具有较高的最终黏度而不推荐作为婴幼儿食品的配方。稳定性受支链淀粉含量、淀粉链分支的长度和磷含量的影响^[28]，具有高稳定性的样品在加工过程中具有较高的凝胶稳定性^[27]。

3.3 热力学特性

马铃薯粉的热力学主要转化阶段取决于淀粉的凝胶特征。研究表明，制备得到的马铃薯粉中淀粉的凝胶温度和焓值转化阶段比分离出的淀粉的数值低，因为粉末中的其他非淀粉多糖、蛋白质等稀释了反应^[29]。Méndez-Montcalvo^[30]研究结果表明所有的处理方法与对照相比均可以增加峰值温度，降低焓值，同样该结果也与物质的属性和淀粉的组成密切相关，其他因素如颗粒的类型和大小，异质性程度，淀粉与脂类、蛋白质和纤维的相互作用类型，都将影响着热力学特性。

3.4 微观特性 (SEM)

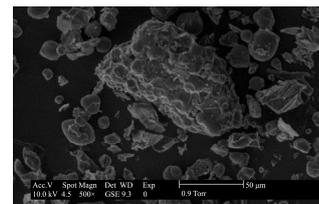


图1 马铃薯粉的淀粉微观结构

Fig.1 Microstructure of starch in potato flour

微观结构特征是粉末通过电子扫描显微镜观察马铃薯粉中淀粉结构的变化情况。Trancoso-Reyes^[31]研

究发现马铃薯粉中的淀粉颗粒具有不同的大小,主要是椭圆和多边形的形状(如图1所示)。Lee^[32]研究表明马铃薯淀粉的颗粒表面光滑无裂纹即颗粒保持完好。马铃薯粉的微观结构受预处理时间的增加而发生明显的变化,如水热处理由于凝胶化影响着结构和淀粉颗粒的多孔性,影响着他们的完整性和初始形状;当蒸汽和微波处理 6.00 min 将影响着以淀粉颗粒形式出现的显著损失,同样显著影响着热力学特性和 X-射线衍射结果^[31]。在微观结构图中,当预处理时间为 4.00 min 比预处理时间为 2.00 min 的样品中有更多的膨胀淀粉颗粒,预处理时间为 6.00 min 的样品具有更高的淀粉凝块,主要原因是长时间的水热处理导致糊化淀粉的产生(如图2所示)。

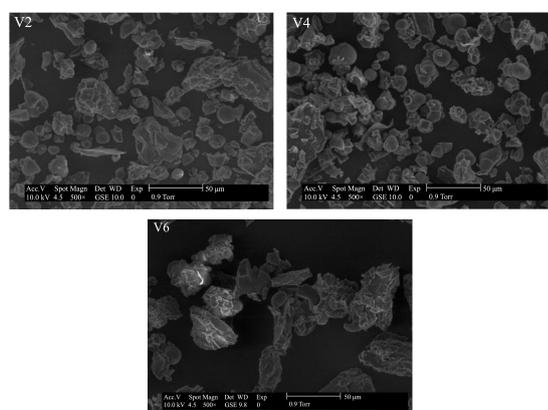


图2 不同处理时间对马铃薯淀粉微观结构的影响

Fig.2 Effects of different treatment time on the microstructure of potato starch

注: V2 表示蒸汽和微波处理 2 min, V4 表示蒸汽和微波处理 4 min, V6 表示蒸汽和微波处理 6 min。

4 不同样品品质特性之间的相关性

4.1 理化品质特性间的相关性

马铃薯粉中含有淀粉、蛋白质、脂类、灰分、纤维等多种成分,各组分在溶液中会相互作用,相互之间促进或抑制功能特性,进而影响马铃薯粉的加工特性。Svihus^[33]研究发现粉末中的蛋白质含量与直链淀粉含量($r=0.78$)和持水性($r=-0.77$)具有显著的相关性,主要原因是蛋白质和脂类存在于淀粉分子的表面,与淀粉分子形成复合物结构,蛋白质遮盖了淀粉成分的亲水基团限制了其与水的相互作用。另外,蛋白质中具有较多的非极性氨基酸因为不能束缚更多的水分子而降低淀粉的亲水性^[34]。Klang^[5]研究发现灰分含量与蛋白质($r=0.70$),直链淀粉含量($r=0.71$),持水性($r=-0.52$)呈显著的相关性。灰分是植物或动物组成中的无机物质,其代表性成分是金属离子。在细

胞中,金属离子和蛋白质、淀粉相结合,如血红蛋白中的铁和淀粉表面磷的存在方式,这些金属离子阻碍了粉末持水能力^[35]。

淀粉的两个主要成分直链淀粉和支链淀粉。直链淀粉代表着少部分组分和小分子质量,当粉末中富含直链淀粉时将具有较低的分子质量。pH 和可滴定酸度受化合物中电离势和有机酸的影响,直链淀粉中具有磷离子,表面有蛋白质,这些物质在一定条件下会发生离子化进而影响 pH 和可滴定酸度。粉末中含有较高的直链淀粉时具有很强的降解趋势,因此降低了水分的保留水平。直链淀粉含量越高,在较高的温度条件下具有较低的持水性,研究发现直链淀粉与持水性($r=-0.91$)有显著的负相关性^[5]。

还原糖是表面含有羟基的化合物,这些极性基团具有很强的结合和保留水分子的能力,还原糖与持水性具有显著的正相关性($r=0.51$)^[18]。同样纤维和还原糖($r=0.79$)、质量密度($r=0.70$)呈显著的正相关。纤维是具有较高分子质量的化合物,他们将增加质量密度,富含纤维的粉末会形成不稳定的凝胶并且在一定温度条件下他们会重新结合水分。质量密度和 pH($r=-0.88$)、可滴定酸度($r=-0.71$)、持水性($r=0.77$)具有显著的相关性,质量密度受分子大小和营养成分的影响,尤其是脂肪、蛋白质和碳水化合物。碳水化合物具有很强的亲水性和与水的相互作用,这些化学成分具有较差的电离能力因此降低 pH 值。pH 与持水性具有显著的负相关性($r=-0.85$),因此,持水性的最高峰表现在 7.00~7.50^[5]。pH 值的降低将导致亲水基团离子化的改变,因此导致固定水分子的能力降低。可滴定酸度与持水性、持油性均呈显著的负相关,可滴定酸度受植物组成中的有机化合物的影响,如乳酸。这些极性有机化合物与水的相互作用很弱,进而导致低的凝胶黏度。

4.2 理化品质特性与加工品质特性间的相关性

研究发现,适当添加马铃薯粉可以改善面包、馒头、面条的营养价值、口感、弹性、柔软度、适口性和货架期等。Liu^[36]研究表明添加 0.00%~35.00%的马铃薯粉可以显著影响馒头的品质;Liu^[37], Curti^[38]研究表明,当添加 15.00%~20.00%马铃薯粉时,面包的品质最好。同时,适量的添加马铃薯粉可以减缓面包的老化程度,有助于保持面包的新鲜度,还能带来一种独特的、令人愉悦的味道,并改善烤面包的质量,延长货架期^[3]。Xu^[39]研究表明,添加马铃薯粉可以改

善面条的口感和风味,当马铃薯粉添加量为 35.00%左右时,面条具有很好的品质。

碳水化合物是亲水性化合物,在其表面上有羟基可以束缚水分子的能力,因此可以增加膨胀性。淀粉分子中的直链淀粉/支链淀粉比值影响着其功能特性,尤其是膨胀能力和稳定性。直链淀粉含量和膨胀力($r=0.81$)间具有显著的相关性,当在高温条件下,富含直链淀粉颗粒分子打开,逐渐释放直链淀粉分子;直链淀粉在较低温度条件下将重新组合导致最终黏度增加和膨胀度降低^[31]。淀粉与酚类化合物($r=0.67$)和糊化温度($r=0.69$)呈显著的相关性。酚类化合物是极性化合物限制了水-淀粉的相互作用,因此限制了淀粉的膨胀。由于酚类化合物分子的束缚将需要较高的温度形成凝胶^[5]。糊化温度与膨胀力呈显著的负相关($r=-0.66$),当淀粉分子的凝胶性达到最高峰值时也具有较高的膨胀性,同时看到分子化合物的断裂和散开而变成他们原始的状态,这个高的膨胀性将导致较低的凝胶化温度。

峰值黏度和保持黏度与直链淀粉含量相关,而膨胀性和支链淀粉含量相关,峰值黏度和保持黏度具有显著的正相关性($r=0.98$)。峰值黏度代表了凝胶化温度的黏度,淀粉的膨胀性越高,峰值黏度越大,保持黏度表征当温度下降时凝胶的稳定性。衰减与最终黏度($r=0.97$)、回升值($r=0.87$)呈显著的正相关。衰减反映淀粉抵抗剪切和温度的能力,衰减导致直链淀粉分解释放水分并回归到原始状态。最终黏度提供了淀粉凝胶的能力,回升值反映了淀粉分解的能力^[5]。当超过淀粉最终凝胶化温度时,淀粉分子,尤其是富含直链淀粉的,分解加速并释放了他们的含量。再变大的直链淀粉分子重新相互结合导致最终黏度增加^[27]。Srichuwong^[40]证明最终黏度和回升值具有显著的正相关,主要原因是分解的淀粉分子颗粒的重新结合。最终黏度和回升值具有显著的正相关($r=0.96$)可以被解释为富含淀粉的粉末具有较高比例的直链淀粉分解而使得在较低温度下具有较高一致性的凝胶特性。

5 结论

淀粉是马铃薯的主要成分,其对马铃薯粉的物理化学特性具有很大的影响。研究发现马铃薯淀粉的分子结构、组成、微观结构、流变学性能、热特性等性质的显著差异影响了马铃薯粉性质的差异^[1,10]。未来的研究应该探索马铃薯中淀粉的结构和功能特性,进一步探讨马铃薯淀粉与马铃薯粉品质特性之间的关系,将马铃薯粉开发新的“健康”食品,如马铃薯粉可

用于制作面包、面条和饼干等一系列产品^[3],以马铃薯粉代替小麦粉可提高产品的膳食纤维和多酚含量等营养品质。

参考文献

- [1] Singh J, Colussi R, McCarthy O J, et al. Potato starch and its modification [M]. *Advances in Potato Chemistry and Technology* (2nd ed.). London, UK: Academic Press, 2016, 195-247.
- [2] Joshi A, Sagar V R, Sharma S, et al. Potentiality of potato flour as humectants (anti-staling agent) in bakery product: Muffin [J]. *Potato Research*, 2018, 61(2): 115-131
- [3] Zhang H, Xu F, Wu Y, et al. Progress of potato staple food research and industry development in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(12): 2924-2932
- [4] Ndangui C. Production and Characterization of Sweet Potato Flour (*Ipomoea batatas* Lam): Optimization of Bread-Making technology [D]. Brazzaville, Congo, University of Lorraine, 2015, 1-135
- [5] Klang J M, Tene S T, Kalamo L G N, et al. Effect of bleaching and variety on the physico-chemical, functional and rheological properties of three new Irish potatoes (Cipira, Pamela and Dosa) flours grown in the locality of Dschang (west region of Cameroon) [J]. *Heliyon*, 2019, 5: e02982
- [6] Tambo T S, Klang J M, Ndomou H S C, et al. Characterization of corn, cassava and commercial flours: use of amylases rich flours of germinated corn and sweet potato in the reduction of the consistency of the gruels made from these flours-influence on the nutritional and energy value [J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7(4): 1190-1206
- [7] Igbokwe Akubor P I, Mbaeyi-Nwaoha I E. Effect of processing on the chemical composition, phytochemical content and functional properties of yellow fleshed aerial yam [J]. *Innovare Journal of Food Science*, 2016, 4(4): 11-15
- [8] Haile F, Shimelis A, Abrehet F. Effect of pre-treatment and drying method on chemical composition, microbial and sensory quality of orange - fleshed sweet potato flour and porridge [J]. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2015, 3(3): 82-88
- [9] Olatunde G O, Folake O, Henshaw M A, et al. Quality attributes of sweet potato flour as influenced by variety, pretreatment and drying method [J]. *Food Science & Nutrition*, 2016, 4(4): 623-635
- [10] Zhu F, He J. Physicochemical and functional properties of Maori potato flour [J]. *Food Bioscience*, 2020, 33: 100488

- [11] Mingle E, Sanful R E, Engmann F N. Sensory and physicochemical of bread made from aerial yam (*Dioscorea bulbifera*) and wheat (*Triticum aestivum*) flour [J]. International Journal of Innovative Food Science and Technology, 2017, 1: 29-35
- [12] Zhen M, Joyce I B, Benjamin K S, et al. Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours [J]. Food Research International, 2011, 44(8): 2534-2544
- [13] Singh N, Singh J, Kaur L, et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources [J]. Food Chemistry, 2003, 81(2): 219-231
- [14] Ikegwu O J, Nwabasi V N, Odoh M O, et al. Evaluation of the pasting and some functional properties of starch isolated from some improved cassava varieties in Nigeria [J]. African Journal of Biotechnology, 2009, 8(10): 367-370
- [15] Caprita R, Caprita A, Julean C. Biochemical aspect of non-starch polysaccharides [J]. Animal Science and Biotechnology, 2010, 43(1): 368-372
- [16] De la Rosa-Millán J, Agama-Acevedo E, Osorio-Díaz P, et al. Effect of cooking, annealing and storage on starch digestibility and physicochemical characteristics of unripe banana flour [J]. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 2014, 13(1): 151-163
- [17] Rojas J A, Rosell C M, De Barber B C. Pasting properties of different wheat flour hydrocolloid systems [J]. Food Hydrocolloids, 1999, 13(1): 27-33
- [18] Shimelis E A, Meaza M, Rakshit S K. Physico-chemical properties, pasting behavior and functional characteristics of flours and starches from improved bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in east Africa [J]. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2006, 8: 1-19
- [19] Eke-Ejiofor J. Physico-chemical and pasting properties of starches from cassava, sweet potato and three leaf yam and their application in salad cream production [J]. International Journal of Biotechnology and Food Science, 2015, 3(2): 23-30
- [20] Tumwine G, Atukwase A, Tumuhimise G A, et al. Production of nutrient-enhanced millet-based composite flour using skimmed milk powder and vegetables [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7: 22-34
- [21] Alcázar -Alay S C, Meireles M A A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources [J]. Food Science and Technology, 2015, 35(2): 215-236
- [22] Zaidul I S M, Norulaini N A N, Omar A K M, et al. RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam and cassava starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 69(4): 784-791
- [23] Osungbaro T O, Jimoh D, Osundeyi E. Functional and pasting properties of composite cassava- sorghum flour meals [J]. Agriculture and Biology Journal of North America, 2010, 1(4): 715-720
- [24] Limpisit P, Jindal V K. Comparison of rice flour pasting properties using Brabender viscoamylograph and rapid visco analyser for evaluating cooked rice texture [J]. Starch, 2002, 54(8): 350-357
- [25] Sandhu K S, Singh N, Malhi N S. Some properties of corn grains and their flours I: physicochemical, functional and chapati- making properties of flours [J]. Food Chemistry, 2006, 101(3): 938-946
- [26] Mishra S, Rai T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches [J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20(5): 557-566
- [27] Tsakama M, Mwangwela A M, Manani T A, et al. Effect of heat moisture treatment on physicochemical and pasting properties of starch extracted from eleven sweet potato varieties [J]. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science, 2011, 1(7): 254-260
- [28] Kuar L, Singh J, Singh N. Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(5): 839-849
- [29] Hernandez-Urbe J P, Agama-Acevedo E, Gonzalez-Soto R A, et al. Isolation and characterization of Mexican chayote tuber (*Sechium edule* Sw.) starch [J]. Starch, 2011, 63(1): 32-41
- [30] Méndez-Montealvo G, Solorza-Feria J, Velázquez-del Valle M, et al. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México [J]. Agrociencia, 2005, 39: 267-274
- [31] Trancoso-Reyes N, Ochoa Martínez L A, Bello-Pérez L A, et al. Effect of pre-treatment on physicochemical and structural properties, and the bioaccessibility of β -carotene in sweet potato flour [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 199-205
- [32] Lee C J, Shin S I, Kim Y, et al. Structural characteristics and glucose response in mice of potato starch modified by hydrothermal treatments [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 83(4): 1879-1886