

不同品种甘薯全粉品质特性比较

赵时珊, 蔡芳, 隋勇, 熊添, 蔡沙, 邹浩峰, 周德顺, 陈学玲, 何建军, 梅新*

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

摘要: 对比分析 19 个不同品种甘薯全粉的营养品质与物化特性, 结果显示, 19 种甘薯全粉可筛分为 7 类, 其中营养品质最好的前三品种为 Q7007>赣紫 C702>宁紫 8 号。聚类分析显示, 根据各品种性能相似, 可将其划分 4 个大类, I 类: 7 个品种, 持水、吸水膨胀力中等, 持油力低; II 类: 3 个品种, 持水力高, 持油力低; III 类: 5 个品种, 持水、持油和吸水膨胀力均较低; IV 类: 4 个品种, 持油和吸水膨胀力高。此外, 糊化起始温度(T_o)、峰值温度(T_p)、终止温度(T_c)、热焓(ΔH)分别介于 73.47~83.00 °C、80.63~88.10 °C、86.87~92.90 °C、0.79~3.77 J/g 之间, T_o 、 T_p 、 T_c 最高的是徐薯 22, 最低的是苏薯 32。相关性分析显示, 蛋白质含量与吸水膨胀性呈显著负相关, 持水性与持油性分别与花青素、 β -胡萝卜素含量呈显著正相关, 证明甘薯全粉的营养品质与物化特性之间存在着紧密联系。因此, 可根据不同品种甘薯全粉的营养品质、物化特性及性状相关对其进行加工利用, 以期为甘薯资源的推广和产品开发提供理论依据。

关键词: 甘薯全粉; 营养成分; 物化特性; 主成分分析; 系统聚类分析

文章编号: 1673-9078(2022)08-218-228

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.8.1152

Comparison of the Quality Characteristics of Powder from Different Sweet Potato Varieties

ZHAO Shishan, CAI Fang, SUI Yong, XIONG Tian, CAI Sha, ZOU Haofeng, ZHOU Deshun, CHEN Xueling, HE Jianjun, MEI Xin*

(Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: The nutritional quality and physicochemical characteristics of powder from 19 different varieties of sweet potato were compared and analyzed. The results showed that the 19 types of sweet potato powder could be divided into seven categories, among which the top three varieties with the best nutritional quality were Q7007>GanziC702>Ningzi 8. Cluster analysis showed that the different varieties could be classified according to their similarities in performance into four classes: Class I, seven varieties with medium water holding and swelling capacities, and low oil holding capacity; Class II, three varieties with high water holding capacity and low oil holding capacity; Class III, five varieties with low water and oil holding and swelling capacities; Class IV, four varieties with high oil holding and swelling capacities. The gelatinization onset temperature (T_o), peak temperature (T_p), end temperature (T_c), and enthalpy (ΔH) ranged between 73.47~83.00 °C, 80.63~88.10 °C, 86.87~92.90 °C, and 0.79~3.77 J/g, respectively. Xushu 22 had the highest T_o , T_p , and T_c , whereas Sushu 32 had the lowest values. Correlation analysis showed that there was a significant negative correlation between protein content and swelling capacity, whereas water and oil holding capacities were significantly correlated with anthocyanin and β -carotene levels, respectively, thus demonstrating that there was a close relationship between the nutritional quality and physicochemical properties of sweet potato powder. Therefore, the different varieties of sweet potato powder can be processed and utilized according to their nutritional quality, physicochemical characteristics,

引文格式:

赵时珊, 蔡芳, 隋勇, 等. 不同品种甘薯全粉品质特性比较[J]. 现代食品科技, 2022, 38(8): 218-228

ZHAO Shishan, CAI Fang, SUI Yong, et al. Comparison of the quality characteristics of powder from different sweet potato varieties [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(8): 218-228

收稿日期: 2021-10-16

项目基金: 湖北省技术创新重大专项 (2019AEE022)

作者简介: 赵时珊 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1045298995@qq.com

通讯作者: 梅新 (1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 薯类深加工及副产物综合利用, E-mail: 112076404@qq.com

and properties, to provide a theoretical basis for the promotion of sweet potato resources and product development.

Key words: sweet potato powder; nutritional components; physicochemical properties; principal component analysis; systematic cluster analysis

甘薯 (*Ipomoea batatas* Lam), 又称番薯、地瓜、山芋等, 属旋花科一年生或多年生草本块根植物, 富含维生素、蛋白质、 β -胡萝卜素、多糖等成分^[1,2], 是我国继水稻、小麦、玉米、马铃薯之后的第 5 大粮食作物。根据 FAO 统计, 2019 年我国甘薯种植面积和产量分别为 $2.37 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 和 $5.20 \times 10^7 \text{ t}$, 各占世界甘薯种植面积和产量的 30.55% 和 56.62%, 是世界上最大的甘薯生产国和消费国。但由于新鲜甘薯块根体积大, 组织脆嫩, 水分含量较高 (约为 60%~80%), 容易感染软腐病和黑斑病而产生腐烂, 往往造成甘薯资源的极大浪费, 因此能保留鲜薯良好色泽与风味的加工方式受到了食品行业的广泛关注^[3,4]。甘薯经过清洗、切片、漂洗等工艺过程, 再经脱水干燥得到的细颗粒状、粉末状产品统称为甘薯全粉。经过干燥处理的甘薯全粉能够较长时间地保存, 且能最大限度地保持甘薯细胞颗粒的完好性, 复水后的甘薯全粉具有鲜薯的风味和口感, 并包含除薯皮以外全部的干物质, 如淀粉、蛋白质、纤维素、维生素、矿物质等^[5-7]。

甘薯全粉作为中国重要的粮食、饲料和工业加工原料, 对其开展品质特性研究有利于甘薯资源的综合利用, 也是甘薯全粉加工品种选育与利用过程的重要环节。蛋白质、淀粉、膳食纤维、花青素及 β -胡萝卜素是衡量甘薯全粉品质的重要指标。根据其营养含量的不同可分为食用型品种, 用于鲜食、烤食、休闲食品加工; 淀粉型品种, 用于提取甘薯淀粉; 以及特用型品种, 用于提取色素、 β -胡萝卜素、花青素等^[8]。为能更好地开发利用甘薯全粉的潜在价值, 前人更从加工方法^[9]、基因型^[10]、测定方法^[11]与环境效应等不同角度研究甘薯全粉的品质特性。但单凭其某一个或几个品质性状评价甘薯全粉的品质差异已不再能适应社会的需要, 且不同品种甘薯全粉间品质差异较大, 诸多的研究结果也不尽一致, 一定程度上限制了甘薯全粉的实际应用^[12,13]。目前, 运用主成分分析及聚类分析对甘薯全粉品种进行品质特性分析及分类的研究鲜有报道。该类方法可根据对象的相似性将其进行系统的分类, 对种类繁多的甘薯资源的合理分类具有重要意义。

本研究在比较分析 19 个不同品种甘薯全粉品质特性指标的基础上, 采用主成分分析筛选甘薯全粉的品质评价指标, 并根据各类甘薯全粉中不同指标含量的分布情况对其进行分类, 进而通过聚类分析, 对甘

薯全粉的物化特性进行分类评价, 最后运用相关性分析探讨甘薯全粉品质特性指标之间的联系, 以期为甘薯全粉资源的分类利用提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

19 个品种鲜薯均由湖北省农业科学院粮食作物研究所提供, 分别为鄂薯 11、徐薯 22、湘薯 99、漯薯 10 号、渝薯 15、湘薯 203、徐薯 41、济农 1039、苏薯 32、万薯 10 号、浙 71847、浙薯 70、苏薯 36、Q7007、宁紫 8 号、漯紫 4 号、济农 51、赣紫 C702、赣紫 6 号。利用直接干燥粉碎法将其制备成甘薯全粉。制备方法如下: 鲜薯经清洗、去皮后, 切成 2 mm 厚的薄片, 于 0.6% 柠檬酸、0.09% Vc 及 0.03% 亚硫酸钠的复合护色剂中浸泡护色 45 min, 再置于 50~60 °C 的烘箱内干燥, 粉碎过 100 目筛于常温储藏备用^[4]。

直链淀粉试剂盒, 默克化学试剂有限公司; 硫酸、盐酸、石油醚、无水乙醇、硫酸铜、硫酸钾、硼酸、氢氧化钠、乙酸铅等均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

电子分析天平, 赛多利科学仪器 (北京) 有限公司; 台式高速冷冻离心机, 长沙平凡仪器仪表有限公司; SHB-III 循环水式真空泵, 郑州长城仪器有限公司; 红外智能消化炉, 上海沛欧分析仪器有限公司; K9840 自动凯士定氮仪, 海能仪器有限公司; GZX-9240 MBE 电热鼓风干燥箱, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; 磁力搅拌振荡箱, VELP 试剂有限公司; 722N 可见分光光度计, 上海仪电仪器有限公司; 示差量热扫描仪, METZSCH 公司。

1.3 方法

1.3.1 基本成分测定

参照国标方法进行测定, 其中灰分、蛋白质、淀粉、脂肪、膳食纤维含量分别参照 GB 5009.4-2016、GB 5009.5-2016、GB5009-2016、GB/T 5009.6-2016、GB 5009.88-2014 测定, 直链淀粉含量采用 Megazyme 品牌的 K-AMYL 直链淀粉试剂盒测定, 具体测定方法见试剂盒。支链淀粉含量由算法求得: 支链淀粉

=总淀粉-直链淀粉。

1.3.2 化学成分测定

1.3.2.1 花青素

花青素含量采用 pH 差值法测定^[14]。称取 1 g 样品,加入 15 mL 酸化乙醇(60%乙醇+1%盐酸=200:1),超声波 40 °C、45 kHz 条件下提取 1 h,再以 8000 r/min 离心 5 min,收集上清液。各吸取 1 mL 上清液到标为 A 管、B 管的 10 mL 比色管中,再于 A 管中加入 4 mL pH 1.0 缓冲液(称取 7.455 g 的氯化钾,以 1 mol/L 的盐酸缓冲溶液溶解并定容至 1 L)、B 管中加入 4 mL pH 4.5 缓冲液(称取 8.2 g 的醋酸钠,以 1 mol/L 的冰醋酸缓冲溶液溶解并定容至 1 L),混匀后暗室避光反应 15 min,于分光光度计测定 510 nm 和 700 nm 处的吸光度,按照公式(1、2)计算花青素的含量:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH 1.0}} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH 4.5}} \quad (1)$$

$$TMA\text{-content}(\text{mg/g}) = \frac{A \times MW \times DF \times Ve \times 1000}{\epsilon \times l \times M} \quad (2)$$

式中:

A_{510} 和 A_{700} —样品分别在 510、700 nm 处的吸光度;

MW —花青素-3-葡萄糖苷的分子量(449 g/mol);

DF —稀释因子;

Ve —提取体积, mL;

ϵ —花青素-3-葡萄糖苷的消光摩尔系数, 29600;

M —称取的样品质量。

1.3.2.2 可溶性糖

可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[15]。葡萄糖标准曲线为:

$$y = (x - 0.0023) / 0.0087, R^2 = 0.998$$

式中:

y —吸光度;

x —葡萄糖质量浓度, mg/mL。

样品吸光度的测定:称取 1 g 样品,加入 50 mL 的 85%乙醇,45 °C 水浴 10 min,过滤取滤液 1 mL,以去离子水作空白,冰水浴中冷却备用。加入 5 mL 蒽酮试剂(称取 0.2 g 的蒽酮溶于 100 mL 的 80%硫酸,避光保存备用),沸水浴加热 10 min 后冷却,于分光光度计中测定 620 nm 处的吸光度,按照公式(3)计算可溶性糖的含量:

$$\text{可溶性糖}(\text{g}/100\text{g}) = \frac{\text{由回归方程求得的葡萄糖浓度} \times 50}{\text{样品质量} \times 10000} \quad (3)$$

1.3.2.3 β -胡萝卜素

β -胡萝卜素含量采用丙酮比色法测定^[16]。 β -胡萝卜素标曲为:

$$y = 0.2891x - 0.024, R^2 = 0.999.$$

式中:

y —吸光度,

x — β -胡萝卜素质量浓度, $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

样品吸光度的测定:称取 1 g 样品,以料液比 1:3 加入去离子水混匀,加入 25 mL 丙酮溶液,暗室放置 2~3 h,45 kHz 超声 30 min,离心、过滤,于分光光度计测定 454 nm 处的吸光度,按照公式(4)计算 β -胡萝卜素的含量:

$$\beta\text{-胡萝卜素}(\text{mg}/100\text{g}) = \frac{A \times V \times 1000}{W \times 100} \quad (4)$$

式中:

A —由标准曲线查得的 β -胡萝卜素含量;

V —测定时取用体积;

W —样品质量。

1.3.3 物化特性测定

1.3.3.1 持水性

称一定量样品,记为 M_1 ,按料液比 1:20 (g/g) 加入蒸馏水,室温条件下搅拌 30 min,2500 r/min,弃上清液,沉淀称质量,记为 M_2 ^[17]。持水性按公式(5)计算:

$$\text{持水性}(\text{g}/\text{g}) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \quad (5)$$

1.3.3.2 持油性

取一定量样品,记为 M_1 ,按料液比 1:10 (g/g) 加入大豆油,充分混匀,室温条件下放置 1 h,1500 r/min 离心 10 min,残渣称质量记为 M_2 ^[18]。持油性按公式(6)计算:

$$\text{持油性}(\text{g}/\text{g}) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (6)$$

1.3.3.3 吸水膨胀性

称取一定量样品 M_1 于带刻度试管中,记录体积为 V_1 ,后按料液比 1:10 (mL/g) 加入蒸馏水,充分混匀后于 4 °C 放置 24 h,记录体积为 V_2 ^[18]。吸水膨胀性按公式(7)计算:

$$\text{吸水膨胀性}(\text{mL}/\text{g}) = \frac{V_2 - V_1}{M_1} \quad (7)$$

1.3.4 热力学特性测定

淀粉热力学特性分析参照 Patindol^[19]的方法。称取 5 ± 0.1 mg (干基) 淀粉至铝坩埚中,加入 10 μL 去离子水,加盖密封,于室温下平衡 2 h 采用 DSC 分析其糊化特性,空坩埚作为参比。按 10 °C/min 升温速率将坩埚从 30 °C 升温至 120 °C,氮气流量 20 mL/min,根据吸热曲线计算得糊化起始温度 (T_0)、峰值温度 (T_p)、终止温度 (T_c) 及糊化焓 (ΔH)。

1.4 数据处理

表 1 不同品种甘薯全粉成分分析 (干重)

Table 1 Composition Analysis of sweet potato powder from different varieties (dry weight)

品种/指标	灰分/(g/100 g)	脂肪/(g/100 g)	蛋白质/(g/100 g)	淀粉/(g/100 g)	直链淀粉/(g/100 g)	支链淀粉/(g/100 g)	可溶性糖/(g/100 g)	膳食纤维/(g/100 g)	花青素/(mg/g)	β -胡萝卜素/(mg/100 g)
鄂薯 11	2.87±0.01 ^{cde}	0.57±0.02 ^g	2.89±0.02 ^g	56.92±0.36 ^f	18.42±0.26 ^{bc}	81.58±0.26 ^{hi}	16.44±0.24 ^g	11.58±0.13 ^{gh}	0.07±0.01 ^{kl}	0.15±0.01 ^{gh}
徐薯 22	2.75±0.02 ^{cdef}	0.49±0.02 ^{hij}	3.21±0.02 ^{hij}	58.97±0.34 ^d	18.83±0.26 ^b	81.17±0.26 ⁱ	22.70±0.47 ^c	12.67±0.06 ^{cd}	0.10±0.00 ^{hij}	0.93±0.03 ^c
湘薯 99	2.13±0.01 ^j	0.86±0.02 ^e	2.96±0.02 ^e	62.08±0.43 ^c	17.70±0.21 ^d	82.30±0.21 ^g	14.88±0.35 ^h	11.08±0.20 ^{ij}	0.08±0.00 ^{kl}	0.36±0.04 ^{ef}
漯薯 10 号	2.22±0.00 ^{ij}	1.44±0.06 ^a	3.68±0.06 ^a	61.41±0.39 ^c	16.22±0.35 ^e	83.72±0.35 ^f	26.69±0.39 ^a	10.62±0.06 ^k	0.10±0.00 ^{ij}	0.12±0.03 ^h
渝薯 15	2.80±0.04 ^{cdef}	0.36±0.01 ^l	3.68±0.01 ^l	62.93±0.44 ^b	18.63±0.10 ^b	81.37±0.16 ⁱ	10.74±0.10 ^l	11.27±0.01 ^{hi}	0.11±0.00 ^{gh}	0.20±0.00 ^{gh}
湘薯 203	2.63±0.03 ^{efg}	0.72±0.01 ^f	3.41±0.01 ^f	56.01±0.35 ^g	18.86±0.26 ^b	81.14±0.26 ⁱ	13.93±0.36 ⁱ	12.78±0.32 ^c	0.10±0.00 ^g	0.17±0.03 ^{gh}
徐薯 41	3.15±0.01 ^{ab}	0.52±0.01 ^{gh}	3.81±0.01 ^{gh}	52.34±0.28 ⁱ	19.85±0.19 ^a	80.15±0.19 ^j	21.31±0.20 ^e	10.82±0.05 ^{jk}	0.11±0.00 ^{ghi}	0.30±0.01 ^{efg}
济农 1039	2.35±0.05 ^{hij}	0.72±0.03 ^f	4.26±0.03 ^f	57.92±0.13 ^e	10.84±0.22 ^j	89.16±0.22 ^a	19.19±0.35 ^{fg}	11.94±0.18 ^{fg}	0.09±0.00 ^j	0.14±0.01 ^{gh}
苏薯 36	3.18±0.02 ^{ab}	0.44±0.02 ^{jk}	5.93±0.02 ^{jk}	55.91±0.11 ^g	14.27±0.22 ^f	85.73±0.22 ^e	22.03±0.24 ^d	11.23±0.02 ^{hij}	0.21±0.01 ^f	0.23±0.03 ^{fgh}
苏薯 32	2.60±0.02 ^{fg}	0.94±0.02 ^d	4.97±0.02 ^d	61.98±0.43 ^c	13.59±0.10 ^g	86.41±0.10 ^d	10.76±0.19 ^l	10.59±0.12 ^k	0.12±0.01 ^g	0.16±0.01 ^{gh}
万薯 10 号	2.21±0.01 ^{ij}	0.48±0.01 ^{hij}	4.56±0.01 ^{hij}	52.97±0.35 ⁱ	11.48±0.20 ⁱ	88.52±0.20 ^b	19.61±0.27 ^f	12.85±0.14 ^c	0.07±0.00 ^{ln}	0.20±0.07 ^{gh}
浙 71847	2.60±0.06 ^{fgh}	0.44±0.03 ^{ijk}	4.39±0.03 ^{ijk}	67.50±0.33 ^a	17.97±0.19 ^{cd}	82.03±0.19 ^{gh}	7.89±0.28 ⁿ	11.16±0.06 ^{hij}	0.05±0.00 ⁿ	0.18±0.03 ^{gh}
浙薯 70	2.80±0.14 ^{cdef}	0.39±0.01 ^{kl}	5.23±0.01 ^{kl}	59.19±0.20 ^d	16.18±0.37 ^e	83.82±0.37 ^f	26.69±0.43 ^a	13.86±0.40 ^b	0.09±0.00 ^j	0.16±0.01 ^{gh}
Q7007	3.37±0.11 ^a	1.35±0.07 ^b	5.61±0.13 ^c	49.87±0.36 ^j	13.57±0.44 ^g	86.43±0.44 ^d	23.92±0.50 ^b	14.41±0.26 ^a	0.09±0.00 ^{ij}	2.24±0.21 ^a
宁紫 8 号	2.67±0.07 ^{defg}	0.44±0.03 ^{ijk}	6.11±0.22 ^a	59.01±0.69 ^d	13.17±0.26 ^{gh}	86.83±0.26 ^{cd}	12.88±0.20 ^k	12.10±0.03 ^{ef}	0.32±0.01 ^d	1.56±0.20 ^b
漯紫 4 号	2.91±0.00 ^{cd}	1.13±0.02 ^c	4.14±0.13 ^g	58.73±0.19 ^f	16.23±0.49 ^e	83.77±0.49 ^f	13.64±0.1 ^{lj}	12.53±0.16 ^{cde}	1.16±0.02 ^a	0.18±0.02 ^{gh}
济农 51	2.44±0.37 ^{ghi}	0.36±0.03 ^l	3.56±0.07 ^{hi}	55.45±0.28 ^g	10.84±0.22 ^j	89.16±0.22 ^a	18.68±0.38 ^g	12.25±0.01 ^{def}	0.58±0.01 ^b	0.30±0.08 ^{efg}
赣紫 C702	2.96±0.00 ^{bc}	0.40±0.01 ^{kl}	5.74±0.07 ^{bc}	53.75±0.20 ^h	12.59±0.28 ^h	87.41±0.28 ^c	13.30±0.28 ^j	14.38±0.23 ^a	0.41±0.01 ^c	0.68±0.09 ^d
赣紫 6 号	2.70±0.03 ^{def}	0.51±0.01 ^{ghi}	4.87±0.24 ^e	56.98±0.18 ^f	16.47±0.30 ^e	83.53±0.30 ^f	11.08±0.33 ^l	10.90±0.11 ^{ij}	0.30±0.01 ^e	0.40±0.01 ^e
平均值	2.70	0.66	4.37	57.64	15.56	84.44	17.18	12.05	0.23	0.46
标准差	1.00	0.44	1.86	6.04	4.95	4.98	5.67	2.55	0.11	0.92
变化范围	2.13-3.37	0.36-1.44	2.89-6.11	49.87-67.50	10.84-19.85	80.15-89.16	7.89-26.69	10.59-14.41	0.05-1.16	0.12-2.24

注: 同一列内不同字母差异性显著 ($p < 0.05$)。

本研究采用 WPS office 对数据进行整理, SPSS 25 进行差异性分析、主成分分析、聚类分析及相关性分析, Origin 9.1 绘图, 结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 不同品种甘薯全粉成分分析

由表 1 可以看出, 19 个不同品种甘薯全粉的灰分、脂肪、蛋白质、淀粉、直链淀粉、支链淀粉、可溶性糖、膳食纤维、花青素和 β -胡萝卜素含量分别介于 2.13%~3.37%、0.36%~1.44%、2.89%~6.11%、49.87%~67.50%、10.84%~19.85%、80.15%~89.16%、7.89%~26.69%、10.59%~14.41%、0.05 mg/g~1.16 mg/g、0.12 mg/100 g~2.24 mg/100 g 之间。其中, Q7007 的灰分、膳食纤维及 β -胡萝卜素含量显著 ($p<0.05$) 高于其他品种, 分别为 3.37%、14.41%、2.24 mg/100 g, 而淀粉含量显著 ($p<0.05$) 低于其他品种, 为 49.87%。漯薯 10 号的脂肪、可溶性糖含量最高, 分别为 1.44%、26.69%, 而渝薯 15 和济农 1039 的脂肪含量最低, 均为 0.36%。蛋白质含量最高的品种是宁紫 8 号, 达 6.11%, 而含量最低的品种是鄂薯 11, 为 2.89%。浙 71847 的淀粉含量最高, 花青素含量最低, 分别为 67.50%、0.05 mg/g, 其中淀粉中支链淀粉质量分数最高的品种分别是济农 51 和济农 1039, 均为 89.16%, 而直链淀粉质量分数最高的品种是徐薯 41, 为 19.85%。此外, 花青素含量最高的品种是漯紫 4 号, 含量高达 1.16 mg/g, 显著 ($p<0.05$) 高于其他品种。

根据前人对甘薯全粉的研究可知, 甘薯全粉的灰分、脂肪、蛋白质、淀粉、可溶性糖、膳食纤维、花青素、 β -胡萝卜素含量分别介于 1.89%~3.25%、0.59%~1.21%、2.69%~5.56%、51.46%~62.60%、15.71%~25.13%、10.14%~14.7%、2.83~10.35 mg/100 g、2.43~2.45 mg/100 g 之间^[5,20-22]。而汤丽琴、张梦潇等对鲜薯的研究显示, 鲜薯的灰分、粗脂肪、粗蛋白、淀粉、膳食纤维、花青素、可溶性糖及 β -胡萝卜素含量分别介于 1.78%~3.08%、0.09%~0.21%、1.44%~2.61%、16.51%~22.66%、3.65%~6.02%、1.75~3.36 mg/g、6.23%~29.34%、0.01~7.31 mg/100 g 之间^[23-25]。各研究中的甘薯全粉成分含量分布与本分析结果相似。但对比甘薯全粉与鲜薯的研究结果可知, 鲜薯中的花青素和 β -胡萝卜素含量较甘薯全粉高, 原因可能是因为鲜薯经削皮切片后, 薯肉大面积的暴露在空气中, 具有强抗氧化活性的 β -胡萝卜素及花青素在发挥抗氧化作用时发生了降解反应, 另外, 漂洗、加热等加工方式也会导致其含量的流失^[26]。但相较于鲜薯, 同等质量

的甘薯全粉中绝大部分都是干物质, 灰分、脂肪、蛋白质、淀粉、膳食纤维含量也相对更高。因此, 将鲜薯加工成甘薯全粉, 并不会过度破坏其营养价值, 反而有利于运输和长期储存。

2.2 不同品种甘薯全粉成分主成分分析

表 2 不同品种甘薯全粉主成分方差贡献率

Table 2 Variance contribution rate of principal components of sweet potato powder from different varieties

主成分	解释的总方差		
	特征值	方差百分比	累积/%
PC1	3.25	32.45	32.45
PC2	1.77	17.72	50.19
PC3	1.41	14.05	64.24
PC4	1.10	11.00	75.24

表 3 不同品种甘薯全粉主成分载荷矩阵数值

Table 3 Principal component load matrix values of sweet potato powder from different varieties

变量	PC1	PC2	PC3	PC4
灰分	0.34	0.78	0.33	0.12
脂肪	0.03	0.05	-0.54	0.59
蛋白质	0.74	-0.01	0.37	-0.15
花青素	0.26	-0.13	0.30	0.82
β -胡萝卜素	0.54	0.25	0.29	-0.10
淀粉	-0.67	-0.41	0.27	-0.01
直链淀粉	-0.78	0.60	0.11	0.05
支链淀粉	0.78	-0.60	-0.11	-0.05
可溶性糖	0.29	0.34	-0.78	-0.14
膳食纤维	0.69	0.30	-0.05	0.01

采用主成分分析法对 19 个品种甘薯全粉的灰分、脂肪、蛋白质、花青素、 β -胡萝卜素、淀粉、直链淀粉、支链淀粉、可溶性糖、膳食纤维 10 种成分进行分析。从表 3 可知, 该 4 个特征值 3.25、1.77、1.41、1.10 皆大于 1, 累计贡献率为 75.24%, 已综合甘薯全粉成分的大量数据信息, 故可反应总体特征。因此, 选取其作为甘薯全粉的主成分进行下一步分析。

2.3 不同品种甘薯全粉主成分分析分类

为了更直观地鉴定 19 种甘薯全粉的综合质量, 使得优良的甘薯品种得以推广, 采用因子综合得分对主成分得分进行数据分析。甘薯全粉品质指标的各主成分因子成分得分系数表见表 4, 可进一步得出甘薯全粉主成分得分及综合评分, 其中 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 $Z_{综}$ 分别为因子 1、因子 2、因子 3、因子 4 和综合因子, A_1 ~ A_{10} 分别代表 19 种甘薯全粉灰分、脂肪、蛋白质、

花青素、β-胡萝卜素、淀粉、直链淀粉、支链淀粉、可溶性糖、膳食纤维标准化后数据。

表4 不同品种甘薯全粉营养品质主成分分析得分系数表

Table 4 Score coefficient of principal component analysis of nutritional quality of sweet potato powder from different varieties

变量	PC1	PC2	PC3	PC4
灰分	0.19	0.58	0.28	0.11
脂肪	0.01	0.03	-0.45	0.56
蛋白质	0.41	0.00	0.31	-0.15
花青素	0.14	-0.10	0.25	0.78
β-胡萝卜素	0.30	0.18	0.24	-0.10
淀粉	-0.37	-0.30	0.23	-0.01
直链淀粉	-0.43	0.45	0.09	0.04
支链淀粉	0.43	-0.45	-0.09	-0.04
可溶性糖	0.16	0.26	-0.65	-0.14
膳食纤维	0.38	0.23	-0.04	0.01

$$Z_1=0.19A_1+0.01A_2+0.41A_3+0.14A_4+0.30A_5-0.37A_6-0.43A_7+0.43A_8+0.16A_9+0.38A_{10}$$

$$Z_2=0.58A_1+0.03A_2+0.00A_3-0.10A_4+0.18A_5-0.30A_6+0.45A_7-0.45A_8+0.26A_9+0.23A_{10}$$

$$Z_3=0.28A_1-0.45A_2+0.31A_3+0.25A_4+0.24A_5+0.23A_6+0.09A_7-0.09A_8-0.65A_9-0.04A_{10}$$

$$Z_4=0.11A_1+0.56A_2-0.15A_3+0.78A_4-0.10A_5-0.01A_6+0.04A_7-0.04A_8-0.14A_9+0.01A_{10}$$

综合得分=因子1的方差贡献率×因子1的得分+因子2的方差贡献率×因子2的得分+因子3的方差贡献率×因子3的得分+因子4的方差贡献率×因子4的得分。

$$Z_{综}=0.33Z_1+0.18Z_2+0.14Z_3+0.11Z_4$$

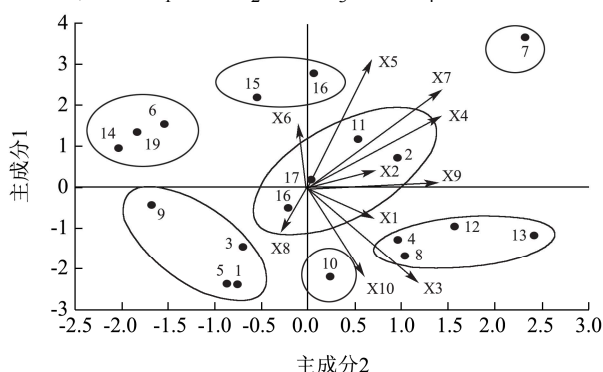


图1 不同品种甘薯全粉主成分分析散点图

Fig.1 Scatter diagram of principal component analysis of sweet potato powder from different varieties

注：X1~X10依次表示蛋白质、β-胡萝卜素、支链淀粉、膳食纤维、灰分、直链淀粉、可溶性糖、淀粉、脂肪、花青素；编号1-19依次表示为浙71847、浙薯70、溧薯10号、湘薯203、

湘薯99、万薯10号、Q7007、鄂薯11、苏薯32、渝薯15、苏薯36、徐薯22、徐薯41、济农1039、宁紫8号、赣紫6号、溧紫4号、赣紫C702、济农51。

表5 不同品种甘薯全粉成分主成分评价结果

Table 5 Principal component evaluation results of sweet potato powder from different varieties

品种	Z1	Z2	Z3	Z4	Z综	排名
浙71847	-2.39	-0.77	2.27	-0.59	-0.66	17
浙薯70	0.71	0.95	-0.19	-1.07	0.26	6
溧薯10号	-1.44	-0.70	-2.28	0.72	-0.83	18
湘薯203	-1.30	0.96	0.13	0.15	-0.22	12
湘薯99	-2.37	-0.87	1.66	0.06	-0.96	19
万薯10号	1.53	-1.53	-0.92	-1.08	-0.02	10
Q7007	3.65	2.34	-1.46	0.46	1.45	1
鄂薯11	-1.70	1.06	0.12	-0.17	-0.37	15
苏薯32	-0.44	-1.68	0.84	0.18	-0.30	14
渝薯15	-2.21	0.24	1.75	-0.42	-0.47	16
苏薯36	1.18	0.54	0.64	-0.59	0.51	5
徐薯22	-0.96	1.56	-0.33	-0.57	-0.14	11
徐薯41	-1.18	2.42	-0.05	-0.27	0.01	8
济农1039	0.94	-2.04	-0.8	-0.52	-0.23	13
宁紫8号	2.19	-0.53	1.58	-0.62	0.77	3
赣紫6号	-0.52	-0.22	1.41	0.08	0.00	9
溧紫4号	0.18	0.04	1.10	3.82	0.64	4
赣紫C702	2.77	0.06	1.29	-0.01	1.09	2
济农51	1.34	-1.83	-0.12	0.43	0.14	7

将4个主成分大小依次排序，可权衡各因子在每个品种中所处的位置与分量。由表3、表4分析得知，因子PC1主要综合了蛋白质、β-胡萝卜素、支链淀粉、膳食纤维的信息，而淀粉和直链淀粉的信息较少，其中得分前三的品种排序为Q7007>赣紫C702>宁紫8号。因子PC2主要综合了灰分、直链淀粉、可溶性糖的信息，而支链淀粉的信息较少，其中得分前三的品种排序为徐薯41>Q7007>徐薯22。因子PC3主要综合了淀粉的信息，可溶性糖的信息则较少，其中得分前三的品种排序为浙71847>渝薯15>湘薯99。因子PC4主要综合了脂肪和花青素的信息，其中得分前三的品种排序为溧紫4号>溧薯10号>Q7007。综合各因子得分得出，排名前三的品种依次为Q7007>赣紫C702>宁紫8号。此外，由图1可以看出，主成分分析根据各营养指标含量的分布将19个品种分成了7类，其中Q7007被单独归为一类，其灰分、脂肪、可溶性糖、膳食纤维及β-胡萝卜素含量均较高，分别为3.37%、1.35%、23.92%、14.41%及2.24 mg/100 g，但淀粉含量较低，仅有49.87%。而赣紫C702与宁紫8号同属为

一类, 该类甘薯全粉的蛋白质、支链淀粉、花青素含量均较高, 平均分别为 5.93%、87.12%、0.37 mg/g。

2.4 不同品种甘薯全粉物化特性分析

2.4.1 不同品种甘薯全粉持水性

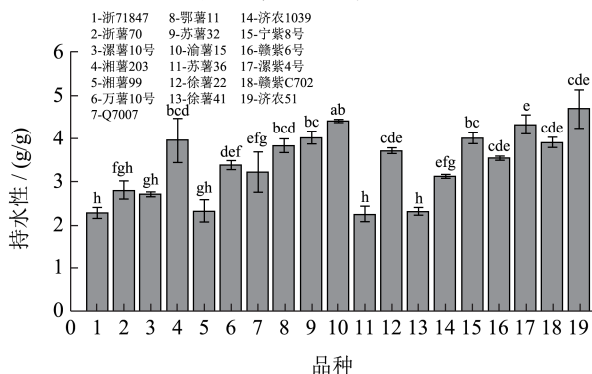


图 2 不同品种甘薯全粉持水性 (g/g)

Fig.2 Water holding capacity of sweet potato powder from different varieties (g/g)

注: 小写字母不同表示不同品种甘薯全粉间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。下同。

持水性的高低是衡量甘薯全粉加工品质的重要指标之一, 可影响到食品的嫩度、多汁性、柔软性。从图 2 可以看出, 不同品种甘薯全粉的持水性介于 2.24~4.64 g/g 之间, 其中济农 51 的持水性为 4.64 g/g, 显著 ($p < 0.05$) 高于其他品种, 而苏薯 36 的持水性为 2.24 g/g, 显著 ($p < 0.05$) 低于其他品种。冯悦研究发现, 12 种甘薯全粉的持水性在 2.82~3.24 g/g 之间浮动, 变化范围与本分析结果接近, 并表明持水性越大, 所制成的食品保湿效果越好, 更有利于感官品质的稳定^[27]; 陈万东研究表明, 持水能力的大小主要受品种差异的影响, 但也受离心机转速与蒸煮温度等外界因素的影响。当转速比较低时, 可以增加淀粉内部羟基与淀粉分子的结合力, 而显示高的持水力, 反之显示低的持水力。另外, 持水力也可随着蒸煮温度的升高而增强, 当温度升高时, 淀粉结晶区胶束中弱的氢键遭到破坏而形成空隙, 水分子则侵入内部与淀粉分子的氢键结合, 因此持水性增高^[28]。

2.4.2 不同品种甘薯全粉持油性

从图 3 可以看出, 不同品种甘薯全粉持油性介于 0.7~1.79 g/g 之间, 其中 Q7007 的持油性最好, 为 1.79 g/g, 而济农 1039 的持油性最差, 为 0.7 g/g。其中, 甘薯全粉持油性的变化范围接近于冯悦^[27]的研究结果 (0.83~2.14 g/g), 但高于段欣^[5]的研究结果 (0.62~0.68 g/g)。宋秀洁^[29]认为, 甘薯全粉持油性的差异主要受品种本身蛋白质的来源、加工条件及温度的影响。其中, 持油性与品种本身的非极性尾端蛋白质含量成

正比, 而其含量可随着加工温度的不同而发生变化。由于鲜薯制备成甘薯全粉需要经过切片、漂洗、干燥及粉碎等多道程序, 其中高温条件下干燥会破坏蛋白质-水之间形成的氢键, 可将原来被掩盖的一些疏水基团暴露于表面, 从而提高蛋白质与油的结合能力, 吸油能力因此得到提高^[28]。此外, β -胡萝卜素含量也可反映出样品的持油能力, 含量越高, 持油能力越好, 这主要因为 β -胡萝卜素属于脂溶性物质, 因此对油脂具有良好的保留效果^[30]。

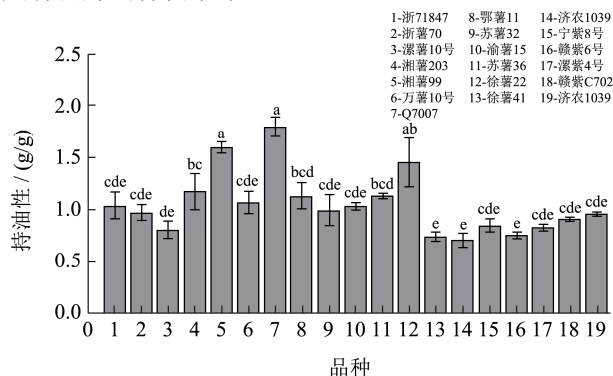


图 3 不同品种甘薯全粉持油性 (g/g)

Fig.3 Oil holding capacity of sweet potato powder from different varieties (g/g)

2.4.3 不同品种甘薯全粉吸水膨胀性

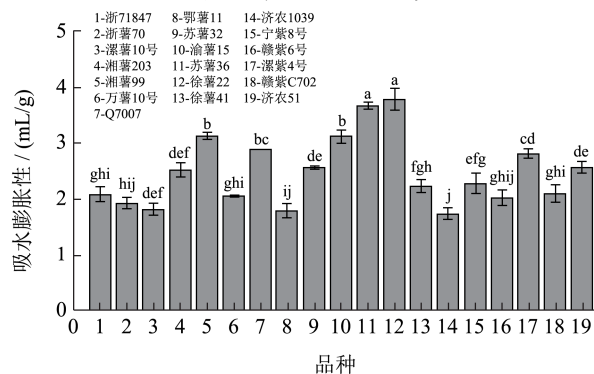


图 4 不同品种甘薯全粉吸水膨胀性 (mL/g)

Fig.4 Water absorption swelling of sweet potato powder from different varieties (mL/g)

从图 4 可以看出, 不同品种甘薯全粉吸水膨胀性介于 1.74~3.79 mL/g 之间, 其中徐薯 22 的吸水膨胀性为 3.79 mL/g, 显著 ($p < 0.05$) 高于其他品种, 而济农 1039 的吸水膨胀性为 1.74 mL/g, 显著 ($p < 0.05$) 低于其他品种。吸水膨胀性是食品加工的重要指标之一, 尤其对于通过晒干及风干等方式进行保存的食品, 通常都具有较好的吸水膨胀性, 复水后可恢复它原本的状态。蔡沙等^[18]研究表明, 食品中存在的亲水基团越多, 吸附及保留水分的能力越强, 吸水膨胀性则越好, 但吸水膨胀性也会随着样品种类、加热温度及外界溶液浓度的改变增加或减少。有研究表明, 样品吸水膨

胀的能力会随着温度的升高呈下降趋势,但对于一些加热时会发生凝胶作用的蛋白质,其所形成的三维网状结构能容纳大量的水,可阻止可利用水分的转运,从而会显示较高的吸水膨胀性^[26]。

2.5 不同品种甘薯全粉物化特性聚类分析

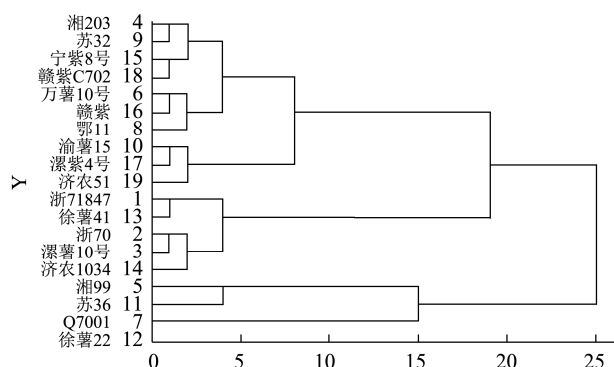


图5 不同品种甘薯全粉物化特性聚类分析图

Fig.5 Cluster analysis of physicochemical characteristics of sweet potato powder from different varieties

根据聚类分析结果显示,可以将19个品种分为4

个类型。第一个类型为湘薯203、万薯10号、鄂薯11、苏薯32、宁紫8号、赣紫6号、赣紫C702共7个品种。该类甘薯持水及吸水膨胀性中等,持油性较差,可作为低脂肪、低热量食物添加物^[5]。第二个类型为渝薯15、漯紫4号、济农51共3个品种。相较于其他参试品种,其显示了较高的持水力和较低的持油力,适合应用于面包、馒头、面条及低脂食品中,可减少脂肪的摄入量,并在存储过程中更好防止产品中水分的过度挥发,以增进营养价值,改善产品风味^[27]。第三个类型包括浙71847、浙薯70、漯薯10号、徐薯41、济农1034,该5个品种显示了较低的持水、持油和吸水膨胀能力,适合进行压缩饼干、脱水薯类以及酥脆类产品的开发,对保持产品风味和延长产品货架期有积极的作用^[5,27]。第四个类型为湘薯99、Q7007、苏薯36、徐薯22共4个品种,其具有较高的持油和吸水膨胀能力,可广泛应用于蛋黄制品、肉制品及蛋糕等重油食品中,能很好的赋予食品诱人的外观及滋味^[5]。

2.6 甘薯全粉热力学特性分析

表6 不同品种甘薯全粉热力学特性分析

Table 6 Thermodynamic characteristics of sweet potato powder from different varieties

品种/指标	To/°C	Tp/°C	Tc/°C	ΔH/(J/g)
鄂薯11	80.20±0.10 ^d	84.37±0.12 ^{efg}	88.93±0.15 ^f	1.51±0.01 ^g
徐薯22	83.00±0.10 ^a	88.10±0.20 ^a	92.33±0.15 ^a	1.14±0.06 ^j
湘薯99	74.20±0.17 ^j	80.63±0.23 ⁱ	87.20±0.20 ^{gh}	1.65±0.09 ^f
漯薯10号	80.47±0.40 ^{cd}	85.73±0.06 ^{bc}	90.20±0.35 ^{de}	1.32±0.17 ^{hi}
渝薯15	78.03±0.38 ^g	84.17±0.35 ^{fg}	89.77±0.40 ^e	1.72±0.01 ^f
湘薯203	78.43±0.40 ^{fg}	85.03±0.35 ^{cde}	90.97±0.31 ^{bc}	2.34±0.10 ^c
徐薯41	77.87±0.12 ^g	85.23±0.45 ^{cd}	89.77±0.40 ^e	1.18±0.09 ^j
济农1039	76.60±0.30 ^h	82.07±0.21 ^h	87.60±0.46 ^g	1.32±0.01 ^{hi}
苏薯36	75.67±0.47 ⁱ	81.4±0.10 ^{hi}	86.87±0.21 ^h	1.34±0.03 ^h
苏薯32	73.47±0.68 ^j	81.03±0.91 ⁱ	87.60±0.10 ^g	1.89±0.05 ^e
万薯10号	81.97±0.15 ^b	87.93±0.31 ^a	92.33±0.15 ^a	1.01±0.01 ^k
浙薯71847	79.10±0.00 ^{ef}	84.87±0.31 ^{def}	90.97±0.47 ^{bc}	3.37±0.01 ^a
浙薯70	78.60±0.85 ^{efg}	85.23±0.57 ^{cd}	91.53±0.15 ^b	0.79±0.03 ^l
Q7007	73.97±0.38 ^j	85.13±0.29 ^{cde}	91.13±0.32 ^{bc}	1.68±0.06 ^f
宁紫8号	80.73±0.25 ^{cd}	86.23±0.15 ^b	92.90±0.30 ^a	2.58±0.09 ^b
漯紫4号	78.50±0.10 ^{fg}	84.60±0.26 ^{def}	90.47±0.32 ^{cd}	2.03±0.06 ^d
济农51	79.30±0.40 ^e	85.13±0.49 ^{cde}	89.80±0.40 ^{de}	1.20±0.01 ^{ij}
赣紫C702	81.03±0.29 ^c	85.77±0.49 ^{bc}	90.47±0.58 ^{cd}	1.18±0.06 ^j
赣紫6号	79.03±0.38 ^{ef}	83.63±0.35 ^g	88.33±0.38 ^f	1.38±0.05 ^{gh}
平均值	78.43	84.54	89.96	1.61
标准差	5.92	6.20	5.80	1.00
变化范围	73.47~83.00	80.63~88.10	86.87~92.90	0.79~3.37

注:同一列不同字母表示差异显著(p<0.05)。

表7 不同品种甘薯全粉理化特性相关性分析

Table 7 Correlation analysis of physical and chemical properties of sweet potato powder from different varieties

指标	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
Y11	0.293	-0.016	-0.507*	0.112	0.248	-0.018	0.203	-0.207	0.044	0.007
Y12	0.166	0.243	-0.171	-0.298	0.517*	-0.254	0.138	-0.158	0.179	0.327
Y13	0.004	-0.106	0.297	0.493*	0.093	-0.08	-0.217	0.231	-0.363	0.25
Y14	0.004	-0.106	0.297	0.493*	0.093	-0.08	0.219	0.231	-0.363	0.25
Y15	-0.177	-0.393	0.136	0.108	-0.073	0.061	0.452	-0.090	0.071	0.199

注: *表示显著 $p < 0.05$, **表示极显著 $p < 0.01$ 。Y1~Y15 依次表示灰分、脂肪、蛋白质、花青素、 β -胡萝卜素、淀粉、直链淀粉、支链淀粉、可溶性糖、膳食纤维、吸水膨胀性、持油性、持水性、 ΔH 、 T_o 。

从表6可以看出,不同品种甘薯全粉的 T_o 、 T_p 、 T_c 、 ΔH 分别介于 73.47~83.00 °C、80.63~88.10 °C、86.87~92.90 °C、0.79~3.37 J/g 之间。其中,徐薯 22 的 T_o 、 T_p 、 T_c 分别为 83.00、88.10 及 92.33 °C,显著 ($p < 0.05$) 高于其他品种,苏薯 32 的 T_o 、 T_p 、 T_c 分别为 73.47、81.03 及 87.60 °C,显著 ($p < 0.05$) 低于其他品种。此外,浙 71847 的 ΔH 最高,浙薯 70 的 ΔH 最低,分别为 3.37、0.79 J/g。甘薯全粉的糊化特性与淀粉的种类、粒径大小、加热温度、直链淀粉及支链淀粉的含量及比例密切相关。每种淀粉的糊化温度不相同,其中小颗粒淀粉的糊化温度高于大颗粒淀粉,这主要是因为小颗粒淀粉的内部结构更为紧密,更不容易被糊化。吴伟都等^[31]研究表明,淀粉组织结构的紧密程度可能受直链淀粉含量的影响。为了证实这一观点,李玥^[32]对不同直链淀粉含量的淀粉进行了研究,发现直链淀粉含量越高的淀粉,糊化温度越高。而 ΔH 一般反映了淀粉糊化过程中颗粒分子顺序损失所产生热能的情况,与分子内结晶度密切相关。顾芳婷研究表明, ΔH 会随着淀粉结晶度的升高而增加,并发现支链淀粉链长增加时会导致结晶度升高,破坏其结晶区双螺旋结构则需要大量的热能,因此会增加淀粉糊化时的焓值^[33]。

2.7 甘薯全粉理化特性的相关性分析

由表7可以看出,甘薯全粉的蛋白质含量与吸水膨胀性呈显著负相关,与持水性、 ΔH 、 T_o 呈弱性正相关。花青素含量与持水性、 ΔH 呈显著正相关,与持油性呈弱性负相关。 β -胡萝卜素含量与持油性呈显著正相关,与吸水膨胀性、持水性、 ΔH 、 T_o 均呈弱性正相关。直链淀粉含量与 T_o 、 ΔH 呈正相关。除此之外,灰分、脂肪、支链淀粉、可溶性糖及膳食纤维含量与物化特性之间的关系均不显著。

3 结论

3.1 19 个不同品种甘薯全粉之间品质特性差异较大。

通过主成分分析法对其营养品质指标分析得出,综合得分排名前三的品种依次为 Q7007>赣紫 C702>宁紫 8 号。其中 Q7007 的灰分、脂肪、可溶性糖、膳食纤维及 β -胡萝卜素含量均较多数品种甘薯全粉高,故单独归为一类;而赣紫 C702 及宁紫 8 号的蛋白质、支链淀粉、花青素含量均较高,故归为一类。聚类分析根据各品种性能相似将其细分为 4 类, I 类: 7 个品种,持水、吸水膨胀性中等,持油性差; II 类: 3 个品种,持水性好,持油性差; III 类: 5 个品种,持水、持油和吸水膨胀性均较差; IV 类: 4 个品种,持油和吸水膨胀性好。此外,徐薯 22 的糊化温度最高,苏薯 32 的糊化温度最低;而 ΔH 最高的品种是浙 71847,最低的品种是浙薯 70。

3.2 相关分析表明,甘薯全粉的营养品质与物化特性之间存在着紧密联系,其中直链淀粉含量与 T_o 呈正相关;蛋白质含量与吸水膨胀性呈显著负相关,与 ΔH 、 T_o 呈显著正相关;而花青素、 β -胡萝卜素含量则分别与持水性、持油性呈显著正相关。因此,可根据不同品种甘薯全粉的营养品质、物化特性对其进行加工利用,并根据其性状相关选育优良的甘薯品种,对甘薯资源的推广和综合利用具有重要的意义。

参考文献

- [1] Santiago D M, Matsushita K, Tsuboi K, et al. Texture and structure of bread supplemented with purple sweet potato powder and treated with enzymes [J]. Food Science & Technology Research, 2015, 21(4): 537-548
- [2] J L M, C C L, C W Y, et al. Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of bread partially substituted with aerial parts of sweet potato - Science Direct [J]. LWT, 2020, 117: 108602
- [3] 王欣,李强,曹清河,等.中国甘薯产业和种业发展现状与未来展望[J].中国农业科学,2021,54(3):483-492
WANG Xin, LI Qiang, CAO Qinghe, et al. Development status and future prospect of sweet potato industry and seed

- industry in China [J]. China Agricultural Science, 2021, 54(3): 483-492
- [4] 程力,何继文,顾正彪,等.甘薯全粉加工关键技术研究进展[J].食品与发酵工业,2012,38(10):140-145
CHENG Li, HE Jiwen, GU Zhengbiao, et al. Research progress on key technologies of sweet potato whole powder processing [J]. Food and Fermentation Industry, 2012, 38(10): 140-145
- [5] 段欣,薛文通,张惠.不同品种甘薯全粉基本特性研究[J].食品科学,2009,30(23):119-122
DUAN Xin, XUE Wentong, ZHANG Hui. Study on basic characteristics of different varieties of sweet potato whole powder [J]. Food Science, 2009, 30(23): 119-122
- [6] Jenkins M, Shanks C B, Brouwer R, et al. Correction to: Factors affecting farmers' willingness and ability to adopt and retain vitamin A - rich varieties of orange - fleshed sweet potato in Mozambique [J]. Food Security, 2018, 10(6): 1521-1523
- [7] 张小村,孔凡美,姜小燕,等.不同品种甘薯与小麦配粉对粉质及馒头品质的影响[J].中国粮油学报,2020,35(5):23-29
ZHANG Xiaocun, KONG FanMei, JIANG Xiaoyan, et al. Effects of flour blending of different varieties of sweet potato and wheat on flour quality and steamed bread quality [J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2020, 35(5): 23-29
- [8] S Tumwegamire, R Kapinga, P R Rubaihayo, et al. Evaluation of dry matter, protein, starch, sucrose, β -carotene, iron, zinc, calcium, and magnesium in east African sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] germplasm [J]. Hort Science, 2011, 46(3): 2-19
- [9] 张凤婕,张天语,曹燕飞,等.甘薯全粉对小麦面团及馒头品质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(15):11-39
ZHANG Fengjie, ZHANG Tianyu, CAO Yanfei, et al. Effects of sweet potato flour on the quality of wheat dough and steamed bread [J]. Food Research and Development, 2020, 41(15): 11-39
- [10] 唐忠厚,朱晓倩,李强,等.不同基因型甘薯直链淀粉含量差异研究[J].食品工业科技,2011,32(11):108-110
TANG Zhonghou, ZHU Xiaoqian, LI Qiang, et al. Study on the difference of amylose content in different genotypes of sweet potato [J]. Food Industry Science and Technology, 2011, 32(11): 108-110
- [11] Philip Donald C Sanchez, Norhashila Hashim, Rosnah Shamsudin, et al. Quality evaluation of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) of different varieties using laser light backscattering imaging technique [J]. Scientia Horticulturae, 2020, 260: 10-15
- [12] 刘桂玲,张鹏,郑建利,等.不同类型甘薯品种主要经济性状和营养成分差异[J].中国粮油学报,2012,27(2):10-13
LIU Guiling, ZHANG Peng, ZHENG Jianli, et al. Differences in main economic characters and nutritional components of different types of sweet potato varieties [J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2012, 27(2): 10-13
- [13] 唐忠厚,魏猛,陈晓光,等.不同肉色甘薯块根主要营养品质特征与综合评价[J].中国农业科学,2014,47(9):1705-1714
TANG Zhonghou, WEI Meng, CHEN Xiaoguang, et al. Main nutritional quality characteristics and comprehensive evaluation of sweet potato tubers with different meat colors [J]. China Agricultural Science, 2014, 47(9): 1705-1714
- [14] Meng J F, Fang Y L, Qin M Y, et al. Varietal differences among the phenolic profiles and antioxidant properties of four cultivars of spine grape (*Vitis davidii* Foex) in Chongyi county (China) [J]. Food Chemistry, 2012, 134(4): 2051-2052
- [15] 王佩芬,池源,王丽波.蒽酮-硫酸比色法测定南瓜籽多糖含量[J].食品研究与开发,2014,35(24):121-125
WANG Peifen, CHI Yuan, WANG Libo. Determination of pumpkin seed polysaccharide content by anthrone sulfuric acid colorimetry [J]. Food Research and Development, 2014, 35(24): 121-125
- [16] 邓永平,车鑫,艾瑞波,等.好食脉孢霉发酵产类胡萝卜素的鉴定、抗氧化性及稳定性研究[J].食品与发酵工业,2021,47(4): 15-20
DENG Yongping, CHE Xin, AI Ruibo, et al. Identification, antioxidation and stability of carotenoids produced by *Neurospora esculenta* [J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(4): 15-20
- [17] Chau C, Huang Y. Characterization of passion fruit seed fibers: a potential fiber source [J]. Food Chemistry, 2004, 85: 189-194
- [18] 蔡沙,隋勇,施建斌,等.马铃薯膳食纤维物化特性分析及其对马铃薯热干面品质的影响[J].食品科学,2019,4:87-94
CAI Sha, SUI Yong, SHI Jianbin, et al. Analysis of physicochemical properties of potato dietary fiber and its impact on the quality of potato hot and dry noodles [J]. Food Science, 2019, 4: 87-94
- [19] Patindol J, Wang Y J, Jane J L. Structure-functionality changes in starch following rough rice storage [J]. Starch/Stärke, 2005, 57: 197-207
- [20] 韩冰霜.紫甘薯全粉对面团特性与饼干品质影响研究[D].合肥:安徽农业大学,2020
HAN Bingshuang. Study on the influence of purple sweet potato flour on dough characteristics and biscuit quality [D].

- Hefei: Anhui Agricultural University, 2020
- [21] 林华.甘薯全粉制粉工艺及其应用于面包的特性研究[D].长沙:湖南农业大学,2009
LIN Hua. Study on the milling technology of sweet potato powder and its application in bread [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2009
- [22] 孙玉清,罗红霞,孙爱东.不同品种紫甘薯花青素熟化稳定性的研究[J].食品工业,2015,36(2):61-63
SUN Yuqing, LUO Hongxia, SUN Aidong. Study on the ripening stability of anthocyanins in different varieties of purple sweet potato [J]. Food Industry, 2015, 36(2): 61-63
- [23] 汤丽琴,徐玉娟,唐道邦,等.4种甘薯的营养成分分析[J].食品工业,2020,41(11):336-339
TANG Liqin, XU Yujuan, TANG Daobang, et al. Analysis of nutritional components of four sweet potatoes [J]. Food Industry, 2020, 41(11): 336-339
- [24] 张梦潇,周文化,周虹,等.不同品种紫薯营养主成分及聚类分析[J].中国粮油学报,2020,35(1):19-25
ZHANG mengxiao, ZHOU Wenhua, ZHOU Hong, et al. Nutritional principal components and cluster analysis of different varieties of purple potato [J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2020, 35(1): 19-25
- [25] 刘鲁林,木泰华,孙艳丽.不同品种甘薯块根营养成分及相关性分析[J].中国粮油学报,2008,1:39-43
LIU Lulin, MU Taihua, SUN Yanli. Analysis on nutritional components and correlation of root tubers of different varieties of sweet potato [J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2008, 1: 39-43
- [26] 阚建全.食品化学:第2版[M].中国农业大学出版社,2008:134-135
KAN Jianquan. Food Chemistry: 2nd Edition [M]. China Agricultural University Press, 2008: 134-135
- [27] 冯悦.不同品种甘薯全粉品质评价[D].沈阳:沈阳农业大学,2018
FENG Yue. Quality evaluation of whole flour of different sweet potato varieties [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018
- [28] 陈万东.甘薯全粉营养成分保全及质构重组对调理紫薯薯条品质的影响[D].郑州:河南农业大学,2017
CHEN Wandong. Effects of nutrient preservation and texture reorganization of sweet potato whole powder on the quality of conditioned purple potato chips [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017
- [29] 宋秀洁.全营养甘薯全粉制备工艺技术的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2012
SONG Xiujie. Study on the preparation technology of full nutritional sweet potato powder [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2012
- [30] M Vasundhara, Sheetal R G, N Marappa, et al. Screening and identification of genotypes for natural color from grain amaranth (*Amaranth* sp.) [J]. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 2017, 10(4): 34-37
- [31] 吴伟都,朱慧,王雅琼,等.基于差示扫描量热仪的大米糊化特性及回生性能的研究[J].食品科技,2015,40(7):165-168
WU Weidu, ZHU Hui, WANG Yaqiong, et al. Study on gelatinization and retrogradation properties of rice based on differential scanning calorimetry [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(7): 165-168
- [32] 李玥.大米淀粉的制备方法及其物理化学特性研究[D].无锡:江南大学,2008
LI Yue. Study on preparation method and physicochemical properties of rice starch [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008
- [33] 顾芳婷.稻米储藏陈化期间淀粉结构对其理化性质的影响及其相关陈化机制研究[D].扬州:扬州大学,2020
GU Fangting. Effect of starch structure on physical and chemical properties of rice during storage and aging and its related aging mechanism [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2020