

甘薯泥作为吞咽障碍食品的研究进展

曹兴瑶, 孙红男*, 木泰华

(中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

摘要: 质构改良食品作为吞咽障碍患者的安全食品, 具有质地柔软、吞咽安全及满足患者营养需求的特点, 不同国家对吞咽障碍食品的分级各不相同, 大多都聚焦于食品本身的质构特性。近些年, 吞咽障碍患者的饮食安全备受关注, 开发吞咽障碍食品的研究逐渐增加。甘薯泥是新鲜甘薯经过一系列加工制成的泥状食品, 保留了甘薯中绝大多数营养物质, 具有柔软、营养成分高的特点, 是适合吞咽障碍患者食用的质构改良食品的优质原料。但甘薯泥的质构特性受到多方面因素的影响, 例如加工原料、加工工艺以及贮藏条件等, 限制甘薯泥作为吞咽障碍食品在食品领域的应用。该文将对质构改良食品的分类、甘薯泥加工工艺及影响甘薯泥质构特性的研究进行综述, 旨在为适合吞咽障碍患者食用的甘薯泥产品的研发及应用提供理论依据。

关键词: 甘薯泥; 吞咽障碍; 质构改良

文章编号: 1673-9078(2024)05-339-346

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.5.0428

Research Progress on Sweet Potato Puree as a Food for Dysphagia

CAO Xingyao, SUN Hongnan*, MU Taihua

(Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Science; Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China)

Abstract: As a safe food for patients with dysphagia, texture-modified food has the characteristics such as soft texture and safe swallowing, and meets the nutritional needs of patients. Different countries have different classifications of foods for dysphagia, and most of them focus on the texture properties of the food itself. In recent years, the dietary safety of patients with dysphagia has received much attention, and research on the development of foods for dysphagia has gradually increased. Sweet potato puree a pureed food made from fresh sweet potatoes through a series of processing, and retains the majority of the nutrients in sweet potatoes, and has the characteristics such as softness and high contents of nutrients, thereby being considered as a high-quality raw material for texture modified foods suitable for patients with dysphagia. However, the texture properties of sweet potato puree are influenced by various factors, such as raw materials for processing, processing techniques, and storage conditions, which limit the application of sweet potato puree as a food for dysphagia in the food field. This article review the classification of texture-modified foods, the processing of sweet potato puree, and the research on the texture properties of sweet potato puree, aiming to provide a theoretical basis for the development and application of sweet potato puree products suitable for patients with dysphagia.

Key words: sweet potato puree;dysphagia;texture modification

引文格式:

曹兴瑶,孙红男,木泰华.甘薯泥作为吞咽障碍食品的研究进展[J].现代食品科技,2024, 40(5):339-346.

CAO Xingyao, SUN Hongnan, MU Taihua. Research progress on sweet potato puree as a food for dysphagia [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(5): 339-346.

收稿日期: 2023-04-10

基金项目: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-10)

作者简介: 曹兴瑶 (2000-), 女, 硕士生, 研究方向: 食品工程, E-mail: cxy122021@163.com

通讯作者: 孙红男 (1983-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 食品化学与营养, E-mail: sunhongnan@caas.cn

吞咽障碍是不能安全有效地把食物从口腔运送到胃部的一种临床表现,对各年龄段人群的饮食安全和健康造成负面影响,特别是老年人^[1,2]。质地坚硬的食物或流动性强的液体在食用过程中可能会引发患者吞咽障碍,出现咳嗽、窒息等症状^[3],因此食品质构改良或液体增稠是吞咽障碍患者饮食管理的有效方法。近年来,质构改良技术被用于食品的加工与贮藏领域,改变食品的质构及流变学等特性,以适用于吞咽障碍患者食用。

我国甘薯资源丰富,据联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)2023年统计数据显示,2021年我国甘薯产量约0.48亿t,占世界甘薯总产量的53.62%,居世界首位^[4]。甘薯富含淀粉、蛋白质、膳食纤维、矿物质、维生素、多酚类物质等营养与功能成分,是全球公认的营养食物。在我国历史上,甘薯充当救济粮,曾挽救了无数中国人民的生命^[5]。可以说,甘薯这种“粮菜兼用、主副共食”的特性,既是对“大食物观”最好的诠释,也是保障国家粮食安全重要的预备粮。

目前我国甘薯主要被用于加工淀粉、粉条(丝)等产品,加工能耗高、产品结构单一,且加工导致营养损失严重^[6]。甘薯泥是以新鲜甘薯为原料,经过清洗、去皮、切片、护色、蒸煮、制泥等工序加工而成的,工艺简单,且由于不需要干燥等工序,加工能耗较低^[7],同时甘薯泥几乎保留了除薯皮以外的全部营养成分,可以作为商品直接销售,也可作为风味改良和营养强化剂添加到面食、饮料等其他产品中,用途广泛。然而,目前我国甘薯泥产品种类极少、市场占有率极低,仅有的少量甘薯泥产品存在加工关键技术落后、产品品质参差不齐、贮存过程品质易劣变等问题,严重限制了适合吞咽障碍患者食用的质构改良甘薯泥产品的开发和甘薯加工行业的健康发展。本文综述质构改良食品、甘薯泥传统加工工艺现状以及影响甘薯泥质构特性的主要影响因素,为获得适合吞咽障碍患者食用的甘薯泥产品提供理论依据。

1 质构改良食品

质构改良食品是指改变液体的稠度或固体食品的质地,进而减少吞咽过程中出现误吸、呛咳风险的食物,适用于存在饮食吞咽障碍的患者^[8]。吞咽障碍在临床上可分为口咽型和食道型两种类型。口

咽型吞咽障碍是指食丸从口腔进入食道存在障碍,也称为转移型吞咽障碍;食道型吞咽障碍是指食丸从食管上段进入胃阶段存在障碍,这可能引起患者的饮食摄入量减少,进而出现营养不良和脱水症状,还可能引起吸入性肺炎和窒息等症状,严重影响患者生命健康和生活质量^[2]。因此改变食品的质构特性在吞咽障碍患者饮食中发挥关键作用。质构改良食品一般遵循四个原则:1)硬的变软,例如果蔬搅拌制泥;2)稀的增稠,在液体如水、饮料中添加食品增稠剂;3)避免液体和固体食品混合食用;4)食物要均质、顺滑^[9]。甘薯泥是新鲜甘薯经清洗、去皮、切片、护色、蒸制、搅拌等工艺制成的泥状产品。根据质构改良食品遵循的四个原则可以看出,甘薯泥是潜在的适合吞咽障碍患者食用的质构改良食品。

针对适合吞咽障碍患者食用的食品,不同国家对其有不同的描述和分类。表观黏度是液体食品的重要评价指标之一,固体食品则按照硬度、黏附性等指标进行分级(如表1所示)。剪切流变学特性和拉伸流变学特性也是评价吞咽障碍食品的一种重要指标,在吞咽障碍食品中多有研究,但尚未建立明确的分级标准。为确定食品固有性质是否适合吞咽障碍患者食用,常采用以下方法进行表征(如表2所示)。这些测定方法对判定甘薯泥产品是否适合吞咽障碍患者食用提供了宝贵经验,目前甘薯泥的质构特性研究多数采用质构分析仪测定硬度、黏附性、内聚性、弹性等指标,对甘薯泥的剪切和拉伸流变学特性研究较少,因此进一步了解甘薯泥的流变学特性将有助于更好的开发适合吞咽障碍的新型甘薯泥产品。

2 甘薯泥加工工艺

甘薯泥的加工方式简单,新鲜甘薯经过清洗、去皮、切片、护色、蒸煮、搅拌制泥、调配后即可得到甘薯泥,是质构改良食品的优质原料,然而甘薯泥产品的营养与质构特性受到加工过程中的各项工艺参数影响,为更好研发适合吞咽障碍患者食用的甘薯泥产品,本节将对甘薯泥的加工工艺进行系统的整理。

2.1 清洗、去皮、切片

选择无腐烂、无伤痕且新鲜的甘薯作为制作甘薯泥的原料,依次进行清洗、去皮、切片等步骤。

甘薯切片的厚度不等,一般为3 mm~15 mm^[7],切片的厚度会影响甘薯泥的感官和质构特性,仅李博等^[21]测定了不同切片厚度和蒸煮时间对紫薯泥的质构和颜色的影响,确定最佳的切片厚度5 mm。因此切片厚度对甘薯泥品质的影响有待进一步研究。

2.2 护色

褐变是指在加工或贮藏的过程中新鲜果蔬因外力作用而呈现出暗色或褐色的现象^[22]。甘薯切片后发生褐变的主要原因是酶促褐变^[23],目前常采用切片后浸泡在抗坏血酸、柠檬酸等^[24]护色剂中对甘薯进行护色(表3),但这种方式会造成水溶性营养与功能成分(如部分维生素、矿物元素、水溶性多酚类物质等)严重损失。随着甘薯护色研究不断深入,新型护色技术出现,例如,超声处理^[23]、强酸性电解水^[25]处理等,已在食品工业中广泛应用,具

有绿色、安全、高效等特点。此外,未见有护色工艺是否对甘薯切片及甘薯泥的质构特性存在影响的相关报道。

2.3 蒸煮

蒸煮是甘薯泥加工的主要熟化方式,但一些研究表明不同的蒸煮条件对甘薯的质构特性、营养与功能成分(胡萝卜素、总酚含量)的保留率以及食用口感影响不同。李博等^[21]表示蒸煮时间延长,紫甘薯切片的断裂值呈下降的趋势,进而降低紫甘薯泥的硬度。吴玲艳^[28]和曹亚裙等^[29]发现甘薯蒸制处理后可以保持较高的抗氧化活性,恰当的蒸制处理条件可以较好的保留甘薯中酚类物质和较好的口感。选择合适的蒸煮条件有助于较高保留甘薯泥中营养成分和获得期望的质构特性,以满足吞咽障碍患者对食品营养和质地的需求。

表1 吞咽障碍食品分级
Table 1 Classification of food with dysphagia

类型	参照标准	分级	参考文献
液体食品	NDD	稀薄 (1~50 mPa·s) 果露样 (51~350 mPa·s) 蜂蜜样 (351~1 750 mPa·s) 布丁样 (>1 750 mPa·s)	[2]
	澳大利亚食品分级	Level 150 低稠型 (95~200 mPa·s) Level 400 中稠型 (260~550 mPa·s) Level 900 高稠型 (670~1 040 mPa·s)	[10]
	JSDR2013	根据表观黏度和 LST 线圈扩散法对液体食品分为三级,低稠型黏度 (mPa·s) 50~150, LST (mm) 值 36~43; 中稠型黏度 (mPa·s) 150~300, LST (mm) 值 32~36; 高稠型黏度 (mPa·s) 300~500, LST (mm) 值 30~32。	[11]
	吞咽障碍膳食营养管理 中国专家共识		[9]
	IDDSI	根据食品在 10 mL 注射器流动 10 s 后的残留量分为 4 个级别 (IDDSI 流动测试)	[12]
固体食品	FOSDU	类别 I: 硬度 (N/m ²) $2.5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ 、黏附性 (J/m ³) $\leq 4 \times 10^2$ 、内聚性 0.2~0.6; 类别 II: 硬度 (N/m ²) $1 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^4$ 、黏附性 (J/m ³) $\leq 1 \times 10^3$ 、内聚性 0.2~0.9; 类别 III: 硬度 (N/m ²) $3 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4$ 、黏附性 (J/m ³) $\leq 1.5 \times 10^3$ 。	[13]
	IDDSI	通过叉滴试验、汤匙倾斜试验及叉压试验中食品的形态进行分级 (4~7 级)。	[12]
	吞咽障碍膳食营养管理 中国专家共识	分为细泥型、细馅型和软食型三种,通过汤匙倾斜试验和叉压试验将食品进行分级。	[9]

注: NDD: 美国国际吞咽障碍饮食 (National Dysphagia Diet); JSDR2013: 日本摄食-吞咽障碍康复学会 2013 分级。IDDSI: 国际吞咽障碍饮食标准化委员会 (International Dysphagia Diet Standardisation Initiative); FOSDU: 日本“供特殊膳食用途的食品”的标签许可标准。

表 2 表征质构改良食品的方法和仪器

Table 2 Methods and instruments for texture-modified foods

仪器	测定参数	特性	应用	参考文献	
线扩散测试	黏性	测量增稠流体在 1 min 内在平坦表面的流动距离 (以 cm 为单位)	增稠液体	[14]	
Bostwick 式稠度计	稠度	测量增稠流体在 30 s 内在平坦表面的流动距离 (以 cm 为单位)	增稠饮料	[15]	
直观方法	IDDSI 注射器流量测试	黏性	根据注射器 (10 s) 残留量测定增稠饮料的黏度 (0~4 级)	增稠液体	[14]
	IDDSI 勺子倾斜试验	内聚性和黏附性	根据食勺上的食品残留, 确定食品的黏附性和内聚性 (4~5 级)	3D 打印蔬菜泥	[16]
	IDDSI 叉压 / 勺压试验	硬度	通过观察挤压后食物的表观特性, 确定食品的硬度	牛肉饼	[17]
	质构分析仪	硬度、内聚性、黏附性等	测量食品的力学特性	鱼糜	[18]
仪器方法	剪切流变仪	黏性、黏弹性	通过设定剪切速率测定改良食品的黏度、黏弹性	3D 打印蔬菜泥	[16]
	拉伸流变仪	拉伸特性	测量在两个板之间拉伸的长丝的直径和横截面积确定拉伸特性	增稠液体	[19]
	摩擦仪	润滑度	测定食品的摩擦系数确定润滑程度	增稠的豆浆/牛奶	[20]

表3 甘薯加工中的褐变控制措施

Table 3 Measures to control browning in sweet potato processing

护色方法	原理	实例	优缺点	参考文献	
物理方法	超声波处理	超声波产生的空化作用和机械效应破坏酶蛋白分子的空间结构, 钝化酶的活性, 从而降低甘薯褐变程度。	Pan 等人研究发现 25 °C、40 kHz 超声 10 min 条件下, 鲜切甘薯的褐变程度较低。	安全、高效	[23]
	L- 半胱氨酸	与褐变的底物发生反应, 生成酰类物质, 从而抑制褐变反应。	L- 半胱氨酸处理浓度为 2.0 g/L 时褐变变化率最低, 褐变抑制率达 62.5%。		
	抗坏血酸	具有还原性, 将褐变产物还原。	浓度为 0.06% 时, 紫甘薯切片的褐变值最低。	便宜、有效但具有化学残留, 对甘薯风味造成不利影响, 存在安全隐患。	[22,24-26]
化学方法	柠檬酸、植酸、强酸性电解水	甘薯中与褐变相关酶的最适 pH 值在 4.0~5.5 之间, 加入适量酸降低体系 pH 值, 部分酸与多酚氧化酶中铜离子螯合, 从而抑制酶活性。	浓度为 2% 的柠檬酸溶液浸泡, 显著降低紫甘薯的褐变。1% 植酸处理甘薯切片时抑制褐变效果最好。pH 值为 2.7, 有效氯浓度为 55.98 mg/L 的电解水处理的甘薯切片, 有效降低甘薯片褐变程度。		
	菠萝蛋白酶	具有水解蛋白酶的作用, 降低酶活性。	0.2% 的菠萝蛋白酶处理的甘薯切片, 褐变程度最低, 但总体褐变值偏高。	易受外界环境影响	[26]
	外源褪黑素	抑制褐变相关酶的活性, 减少褐变底物酚类物质的积累, 提高抗氧化活性。	500 μmol/L 的褪黑素处理甘薯切片发现, 褐变值和相关酶的活性均显著降低。	成本高, 不易在工业生产中应用	[27]

表 4 食品添加剂在甘薯泥中的应用
Table 4 Application of food additives in sweet potato puree

类别	原理	应用	参考文献
酶制剂	果浆酶作为细胞分离剂作用于细胞壁成分，破坏细胞之间的粘结键，从而促使细胞的分离。	向紫甘薯泥中添加果浆酶（含有果胶酶和纤维素酶的复合酶），得到细胞破碎率低且细胞分散性良好的薯泥，细胞完整，营养成分保留率高。	[31]
	α -淀粉酶 耐热 α -淀粉酶催化水解淀粉中 α -1,4 糖苷键，产生可溶性糊精、少量低聚糖和葡萄糖，改变直链或支链淀粉的聚合度。	α -淀粉酶和茶多酚共同处理抑制甘薯淀粉的老化，降低甘薯泥的硬度和色泽变化。	[32]
抗氧化剂	瓜尔豆胶 具有成膜性，瓜尔豆胶的羟基与淀粉链的羟基及周围的水分形成氢键，从而保留薯泥中的水分。	瓜尔豆胶、 β -环状糊精、单甘酯作为抗氧化剂添加到熟制甘薯中提高了熟制甘薯的保水性和糊化度，抑制熟制甘薯中淀粉的老化。	[33]
	β -环状糊精 吸附于淀粉颗粒的表面，防止淀粉分子间氢键的形成，减少淀粉的聚合防止甘薯淀粉老化。		
	单甘酯 单甘酯的疏水基团与淀粉结合形成稳定的复合物，固定直链淀粉，防止因淀粉粒之间的再结晶而发生的老化。		
防腐剂	苯甲酸钠 由于细胞质呈中性，防腐剂解离成离子积聚在细胞质中，细胞质酸化和能量消耗导致生理功能障碍，最终抑制微生物生长。 山梨酸钾	苯甲酸钠和山梨酸钾的最佳抑制活性发生在低 pH 值环境，加入柠檬酸降低橙肉甘薯泥的 pH 值，从而抑制橙肉甘薯泥中大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的生长。	[34]
乳化剂	植物油 脂肪促进甘薯泥中的类胡萝卜素胶束化。	在橙肉甘薯泥的热处理过程中，添加油（2%）导致 β -胡萝卜素生物可及性从 6.3% 增加至 25.1%。蛋黄粉使 β -胡萝卜素转生物可及性 43.7%。	[35]

2.4 搅拌制泥

搅拌是影响食品的质构特性重要因素之一，目前有关甘薯泥的搅拌条件对甘薯泥质构特性文献尚未见相关报道，而在果蔬泥的研究应用中，Lan 等^[30]研究表明增加搅拌速率显著降低了苹果泥的表观黏度、黏弹性和粒径。由此可推断经熟化、搅拌得到甘薯泥产品的质构特性也会受到搅拌程度的影响^[7]，所以探索甘薯制泥过程中的搅拌条件是有必要的。

2.5 添加剂调配

食品添加剂具有改善食品的口感或风味等作用，目前向甘薯泥中添加食品添加剂的主要目的是改善口感和延长保质期（见表 4），应用较为局限，拓展食品添加剂的类型及应用以改善甘薯泥的营养和质构特性也是今后研究方向之一。

2.6 杀菌

杀菌是食品加工中保障食品安全的重要环节，杀菌方式对甘薯泥的保质期影响不同。高林等^[36]研究了超高压和巴氏杀菌两种方式对紫薯泥的贮藏期

影响，在 4 °C 条件下，经超高压杀菌处理的紫薯泥贮藏期为 21 d，巴氏杀菌处理的紫薯泥的贮藏期为 12 d。Al-Ghamdi 等^[37]发现经高压辅助热杀菌处理的紫甘薯泥贮存（37 °C）6 个月，均未检测到需氧和厌氧微生物菌落。杀菌是甘薯泥加工过程中不可或缺的步骤之一，目前尚未发现杀菌方式是否影响甘薯泥的质构特性的相关报道。

3 影响甘薯泥质构特性的主要因素

甘薯泥的质构特性是决定是否适合吞咽障碍患者食用的重要指标，那如何在加工过程中调控甘薯泥的质构参数呢？研究表明果蔬的可食用部分主要是薄壁组织，薄壁细胞的组成包括一个或多个液泡、细胞质、细胞膜、细胞壁和胞间层，细胞壁由纤维素、半纤维素和果胶的混合物组成，胞间层是细胞壁材料的延伸，并且细胞壁的机械性能以及细胞的内部压力和细胞间粘附决定了果蔬组织的质地^[38]。经外界环境变化或加工处理，细胞壁结构易受到破坏，细胞壁成分发生变化，导致果蔬组织软化，质构特性随之改变。因此对细胞壁存在影响的条件可能影

响甘薯泥的质构特性，有研究表明添加酶、食品胶等食品添加剂也可以改变甘薯泥的质构特性，但有关甘薯泥质构特性的研究较少，我们通过查阅影响果蔬泥质构特性的研究基础上分析影响甘薯泥质构特性的主要因素。

3.1 原料选择

原料是影响甘薯泥质构特性的一个重要因素。品种、成熟度及贮藏时间对果蔬的基本营养成分存在不同的影响。朱红等^[39]对7个品种甘薯制得甘薯泥进行质地评价，发现不同品种甘薯泥质构特性差异较大，相关性分析表明甘薯泥的水分含量与硬度、胶粘性和咀嚼性呈显著负相关。同时已有研究表明甘薯在贮藏过程中营养成分减少，细胞壁发生降解，果胶物质分解，细胞结构遭到破坏，组织软化^[40]，进而对甘薯泥的质构特性产生影响。在其他果蔬泥的研究中发现，苹果泥的粒径和表观黏度随苹果贮藏时间的延长而降低，苹果细胞壁中的果胶含量及组成发生改变^[41]。因此甘薯泥加工的原料是决定甘薯泥是否满足吞咽障碍食品标准的重要因素之一，但甘薯何种基本成分与甘薯泥质构特性密切相关的研究尚未见报道。

3.2 加工工艺

3.2.1 热处理

热处理使果蔬组织细胞间的果胶质降解，原果胶降解为可溶性果胶，细胞结构破损，果蔬硬度降低^[38]。热处理是甘薯泥加工过程的关键工序，延长热处理时间可降低甘薯泥的硬度以接近吞咽障碍标准中的要求。该趋势在其他类型的果蔬泥研究同样可以发现，马铃薯泥的硬度随马铃薯的蒸煮时间的延长显著降低，但马铃薯泥的弹性、内聚性、咀嚼性和胶黏性均在一定时间达到峰值，蒸煮时间过长，马铃薯泥的光滑度明显降低，黏度显著增加^[42]。Buergy等^[41]研究发现苹果泥的表观黏度随着处理温度（70、83、95℃）的上升而增加，并且苹果泥中果胶黏度随温度升高溶解度显著增加，果胶的分子量、（阿拉伯糖+半乳糖）/鼠李糖的比例随温度的增加而降低，果胶侧链分支结构改变，相关性分析表明了苹果泥的质构特性与果胶含量和结构存在一定关系，进而解释了热处理改变果蔬泥质构特性的原因。

3.2.2 机械处理

含有植物基质的食物，其质构特性、流变学特

性和感官特性依赖于植物细胞颗粒之间的相互作用^[30]，细胞颗粒的大小直接受到机械处理程度的影响，进而影响果蔬泥的表观黏度、黏弹性和粒径等特性，机械强度越大，粒径减小，质地更为均匀。Santiago等^[15]采用机械处理（混合和高压均质化）与热处理（高温和低温）相结合，评价了不同处理方式的胡萝卜泥稠度的影响，结果表明高温+高压均质化的胡萝卜泥样品的Bostwick稠度指数最低，表现出较低流动性（即高稠度），同时揭示了果蔬泥中果胶结构与机械处理的条件相关，高温处理后进行高压均质化，胡萝卜泥含有较高分子量的果胶，相反顺序产生相对较低分子量的果胶，进而影响植物泥的质构特性。

3.3 食品添加剂

添加食品添加剂可以改善泥状食品的质构特性，并在果蔬泥中广泛应用，为甘薯泥的质构改良提供新思路 and 方向。番石榴泥经果胶酶处理后表观黏度降低，并且随着酶浓度的增加和酶处理时间的延长，番石榴泥的颗粒变小，食品体系更加分散^[43]。Olan等^[44]发现天然苹果和柑橘果胶与植物组织细胞壁中的其他多糖相互作用形成致密的多糖网络结构，使西葫芦泥的硬度和黏附性增加。改性淀粉、黄原胶、卡拉胶、羧甲基纤维素和果胶等添加到胡萝卜泥中，通过流变学结果分析表明所有的样品都表现出剪切变稀特性，且添加羧甲基纤维素的胡萝卜泥的硬度最低，添加卡拉胶的胡萝卜泥硬度较高^[45]。由此可见不同种类的食品添加剂对果蔬泥的质构特性影响不同，因此根据果蔬泥本身特性选择相应的食品添加剂以达到吞咽障碍食品质构特性和营养特性的要求，是甘薯泥质构改良的研究方向之一。

3.4 产品贮藏

低温冷冻可以较大程度地保留食品中的营养成分，延长食品货架期，冷冻食品受到地域及季节的局限小而食品价值提高。然而，冷冻过程中产生的冰晶可能会使细胞损伤，导致解冻后食品品质的劣变^[46]，进而影响果蔬泥作为吞咽障碍食品的食用。研究表明低温冷冻的果蔬泥营养成分和质构特性与新鲜样品存在显著差异，这些变化与贮藏条件密切相关，Alvarez等^[47]发现速冻（-80、-40、-24℃）条件对马铃薯泥的硬度、粘附性、弹性等质构指标存在影响，冷冻后的样品硬度均低于新鲜样品，弹

性增加, -80 °C 条件下冻藏的马铃薯泥的硬度与新鲜样品最为接近。这为甘薯泥的贮藏条件会改变其质构特性提供依据, 目前有关产品贮藏条件影响甘薯泥质构特性的研究较少, 开展此类研究有助于吞咽障碍食品的开发和应用。

4 结论和展望

质构改良食品是通过固体食品软化或液体食品增稠的方式获得的适合吞咽障碍患者食用的安全食品。甘薯泥呈半固体状态, 加工工艺简单且富含营养与功能成分, 是质构改良食品的优质原料。从各国吞咽障碍食品分类中可以看出, 甘薯泥的质构特性是决定其是否适合吞咽障碍患者食用的重要指标, 需要对产品的固有性质进行改良以获得适合吞咽障碍患者食用的甘薯泥, 例如降低硬度、提高润滑度等。而影响甘薯泥质构特性的主要因素包括甘薯原料、热处理条件、机械处理条件、食品添加剂种类及产品贮藏条件等。目前有关甘薯泥质构改良的研究较少, 加工工艺对甘薯泥质构特性的影响未见系统性报道, 限制了甘薯泥作为质构改良食品的开发和应用。

为此, 优化甘薯泥的加工和贮藏工艺, 拓展质构改良技术在甘薯泥上的应用, 开发适合吞咽障碍患者食用的甘薯泥产品, 对提高甘薯产业附加值, 改善全民特别是老年人群营养健康具有重要意义。

参考文献

- [1] GALLEGOS C, BRITO-DE LA FUENTE E, CLAVE P, et al. Nutritional aspects of dysphagia management [J]. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2017, 81: 271-318.
- [2] GALLEGO M, BARAT J M, GRAU R, et al. Compositional, structural design and nutritional aspects of texture-modified foods for the elderly [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, 119: 152-163.
- [3] KONG D M, ZHANG M, MUJUMDAR A S, et al. Feasibility of hydrocolloid addition for 3D printing of Qingtuan with red bean filling as a dysphagia food [J]. *Food Research International*, 2023, 165: 112469.
- [4] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations [EB/OL]. (2023-3-24)[2023-7-12]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>.
- [5] ALAM M K. A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): revisiting the associated health benefits [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 115: 512-529.
- [6] 马梦梅, 木泰华, 孙红男. 营养健康型薯类食品加工与副产物高值化利用研发进展 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(24): 9154-9163.
- [7] 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.
- [8] AGUILERA J M, PARK D J. Texture-modified foods for the elderly: status, technology and opportunities [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 57: 156-164.
- [9] 中国吞咽障碍康复评估与治疗专家共识组. 吞咽障碍膳食营养管理中国专家共识(2019版) [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2019, 41(12): 881-888.
- [10] ATHERTON M, BELLIS-SMITH N, CICHERO J, et al. Texture-modified foods and thickened fluids as used for individuals with dysphagia: Australian standardised labels and definitions [J]. *Wiley-Blackwell Publishing*, 2007, 64: S53-S76.
- [11] JUN K, JUNKO F, RISA U, et al. The classification of modified diet for dysphagic persons in 2013 in the Japanese society of dysphagia rehabilitation [J]. *Journal of the Japan Dietetic Association*, 2013, 56(12): 31-37.
- [12] IDDSI. International Dysphagia Diet Standardisation Initiative [EB/OL]. (2019-7-31)[2023-4-20]. <https://iddsi.org/framework>.
- [13] Consumer Affairs Agency of Japan, Criteria for Labeling Permission for "Foods for Special Dietary Uses" [EB/OL]. (2018-8-8)[2023-4-20]. https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/health_promotion/pdf/health_promotion_190509_0001.pdf.
- [14] BOLIVAR-PRADOS M, TOMSEN N, ARENAS C, et al. A bit thick: hidden risks in thickening products' labelling for dysphagia treatment [J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 123: 106960.
- [15] SANTIAGO J S J, CHRISTIAENS S, VAN LOEY A M, et al. Deliberate processing of carrot purées entails tailored serum pectin structures [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, 33: 515-523.
- [16] AAKANKSHA P, YILIN L A, RAHUL K, et al. 3D food printing of fresh vegetables using food hydrocolloids for dysphagic patients [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 114(1): 106546.
- [17] PEMATILLEKE N, KAUR M, WAI C T R, et al. Effect of the addition of hydrocolloids on beef texture: targeted to the needs of people with dysphagia [J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113: 106413.
- [18] OKITA A, TAKAHASHI K, ITAKURA M, et al. A novel soft surimi gel with functionality prepared using alcalase for people suffering from dysphagia [J]. *Food Chemistry*, 2020, 344: 128641.
- [19] HADDE E K, CHEN J. Shear and extensional rheological

- characterization of thickened fluid for dysphagia management [J]. *Journal of Food Engineering*, 2019, 245: 18-23.
- [20] VIEIRA J M, OLIVEIRA F D, SALVARO D B, et al. Rheology and soft tribology of thickened dispersions aiming the development of oropharyngeal dysphagia-oriented products [J]. *Current Research in Food Science*, 2020, 3: 19-29.
- [21] 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.
- [22] 冯程程,于筠,王春玲.L-半胱氨酸对鲜切紫甘薯护色保鲜作用[J].*食品与发酵工业*,2019,45(22):150-156.
- [23] PAN Y F, CHEN L, PANG L L, et al. Ultrasound treatment inhibits browning and improves antioxidant capacity of fresh-cut sweet potato during cold storage [J]. *RSC Advances*, 2020, 10(16): 9193-9202.
- [24] 冯卫敏,罗佳丽,蒋和体.响应面优化鲜切紫薯褐变控制条件[J].*食品工业科技*,2014,35(22):268-272.
- [25] LIU R, YU Z L, SUN Y L, et al. The enzymatic browning reaction inhibition effect of strong acidic electrolyzed water on different parts of sweet potato slices [J]. *Food Bioscience*, 2021, 43: 101252.
- [26] 赵嫚,李华,任飞.几种天然抑制剂对鲜切甘薯酶促褐变的影响[J].*食品工业*,2018,39(5):30-33.
- [27] LI Y X, ZHANG L, ZHANG L, et al. Exogenous melatonin alleviates browning of fresh-cut sweetpotato by enhancing anti-oxidative process [J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 297: 110937.
- [28] 吴玲艳,申燕飞,赵晓飞,等.不同汽蒸工艺对甘薯薯块口感和抗氧化能力的影响[J].*食品科学*,2016,37(9):66-70.
- [29] 曹亚裙,谢淑丽,方堃,等.电蒸箱烹饪条件对蒸紫薯品质影响[J].*食品工业*,2017,38(1):61-64.
- [30] LAN W J, RENARD C, JAILLAIS B, et al. Mid-infrared technique to forecast cooked puree properties from raw apples: a potential strategy towards sustainability and precision processing [J]. *Food Chemistry*, 2021, 355: 129636.
- [31] 付严萍.单细胞化紫甘薯泥加工工艺及其脆片研究与开发[D].南京:南京农业大学,2012.
- [32] 孔宪奎,刘俊山,李广华.一种功能性甘薯泥及制备方法:山东省,CN104585672B[P].2017-08-08.
- [33] 李新华,翟娅萍.添加剂对熟制甘薯抗老化作用的研究[J].*食品工业科技*,2011,32(10):402-405.
- [34] MUSYOKA J N, ABONG G O, MBOGO D M, et al. Effects of acidification and preservatives on microbial growth during storage of orange fleshed sweet potato puree[J]. *International Journal of Food Science*, 2018, 2018:7435-7443.
- [35] DHUIQUE-MAYER C, SERVENT A, MESSAN C, et al. Bioaccessibility of biofortified sweet potato carotenoids in baby food: impact of manufacturing process [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2018, 5: 98.
- [36] 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.
- [37] AL-GHAMDI S, SONAR C R, PATEL J, et al. High pressure-assisted thermal sterilization of low-acid fruit and vegetable purees: microbial safety, nutrient, quality, and packaging evaluation [J]. *Food Control*, 2020, 114: 107233.
- [38] VAN B S, SILAD N, DUVETTER T, et al. Pectins in processed fruits and vegetables: Part III—texture engineering [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2009, 8(2): 105-117.
- [39] 朱红,孙健,钮福祥,等.基于主成分分析和质构分析的甘薯泥品质综合评价[J].*食品安全质量检测学报*,2022, 13(1):134-140.
- [40] 曹如霞,徐舒,李玲,等.甘薯块根贮藏期间细胞壁成分及降解酶活性变化[J].*中国农业大学学报*,2020,25(5):59-69.
- [41] BUERGY A, ROLLAND-SABATE A, LECA A, et al. Pectin degradation accounts for apple tissue fragmentation during thermomechanical-mediated puree production [J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 120: 106885.
- [42] 王梅,董楠,周罗娜,等.品种和加工工艺对马铃薯泥质构特性的影响[J].*食品科技*,2018,43(7):164-168.
- [43] NINGA K A, CARLY DESOBGO Z S, DE S, et al. Pectinase hydrolysis of guava pulp: effect on the physicochemical characteristics of its juice [J]. *Heliyon*, 2021, 7(10): e08141.
- [44] OLARU L D, NISTOR O V, ANDRONOIU D G, et al. Effect of added hydrocolloids on ready-to-eat courgette (*Cucurbita pepo*) puree ohmically treated [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, 59(1): 388-396.
- [45] SHARMA M, KRISTO E, CORREDIG M, et al. Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: rheological and sensory measures [J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 63: 478-487.
- [46] CHEN X Q, LIU H Y, LI X X, et al. Effect of ultrasonic-assisted immersion freezing and quick-freezing on quality of sea bass during frozen storage [J]. *LWT*, 2022, 154: 112737.
- [47] ALVAREZ M D, FERNANDEZ C, CANET W. Effect of freezing/thawing conditions and long-term frozen storage on the quality of mashed potatoes [J]. *Wiley*, 2005, 85(14): 2327-2340.