

# 马铃薯淀粉糊在超声场中凝胶质构特性的变化研究

林静韵<sup>1</sup>, 李琳<sup>1,\*</sup>, 李坚斌<sup>2</sup>, 陈玲<sup>1</sup>, 李冰<sup>1</sup>, 李晓玺<sup>1</sup>

(1. 华南理工大学轻工与食品工程学院, 广东 广州 510640 2. 广西大学轻工与食品工程学院, 广西 南宁 530004)

**摘要:** 淀粉糊凝胶特性对食品加工过程有重要指导作用。本实验以马铃薯淀粉糊为研究对象, 考察在超声场中, 不同超声场条件、不同马铃薯淀粉糊浓度下, 马铃薯淀粉凝胶强度的变化规律。结果表明: 超声场中马铃薯淀粉凝胶质构分析性质(TPA性质)显著改变, 延长超声场作用时间和增加声强会降低凝胶的硬度值、脆度值、粘性值、胶粘性值和耐咀嚼性值。随着马铃薯淀粉糊浓度增大, 超声场中马铃薯淀粉糊凝胶的硬度值、胶粘性值和耐咀嚼性值下降趋势变小。

**关键词:** 超声场; 马铃薯淀粉; TPA; 质构

Study on Gel Texture Properties of Potato Starch Paste in Ultrasonic Field

LIN Jing-yun<sup>1</sup>, LI Lin<sup>1,\*</sup>, LI Jian-bin<sup>2</sup>, CHEN Ling<sup>1</sup>, LI Bing<sup>1</sup>, LI Xiao-xi<sup>1</sup>

(1. College of Light Industry and Food Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China

2. College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** The gel texture properties of starch paste have great effects on guiding the process of food production. The gel texture properties of potato starch paste in ultrasound field were investigated. The effects of the ultrasonic field condition and the content of potato starch paste on the gel texture properties of potato starch paste were evaluated. The results showed that with the prolonging of the ultrasonic time and the strengthen of sound intensity, the gel texture properties of potato starch paste such as hardness value, fracture ability value, adhesiveness value, gumminess value and chewiness value decreased in ultrasonic field. Moreover, hardness value, adhesiveness value and gumminess value showed a slower decreasing tendency with the increase of the content of potato starch paste.

**Key words** ultrasonic field; potato starch; texture profile analysis; texture

中图分类号: TQ201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)08-0120-04

淀粉因其种类和基因不同而显示出各自不同的特性<sup>[1]</sup>。薯类淀粉中的马铃薯淀粉具有其它淀粉不具备的优良的糊化特性和独特的用途, 是仅次于玉米淀粉的生产量和商品量居第二位的植物淀粉, 在加工面食类、水畜产加工制品、点心类, 颗粒粉、化工淀粉等方面具有独特的作用<sup>[2]</sup>。淀粉凝胶质构特性与食品品质有密切的关系, 它可以间接的反映出淀粉制品的品质特性, 如形态、质构、口感、货价期等<sup>[3]</sup>。通过对淀粉糊凝胶特性的测定, 可以控制产品质量, 鉴别成品优劣, 并可以为工艺和设备的设计提供有关数据。因此, 凝胶特性检测是目前食品加工过程中必不可少的检测手段之一。

超声波在物质介质中形成介质粒子的机械振动, 引起与媒质的相互作用。超声波在液体内的作用主要来自超声波的热作用、机械作用和空化作用<sup>[4]</sup>。超声处理技术在食品工业辅助提取、干燥、过滤与分离等领域的开发和应用已经十分广泛, 国外已经形成了一个巨大的产品市场。其设备结构简单, 参数容易控制, 操作方便, 运行成本低, 不会造成环境污染, 而且易于实现自动化、连续化, 具有极大的应用潜力。基于超声食品加工技术的诸多优点, 超声处理被认为是食品加工过程最有潜力和发展前途的一种新技术<sup>[5]</sup>。本实验以马铃薯淀粉作为食品组分的研究对象, 探讨外加超声物理场对不同浓度马铃薯淀粉凝胶质构特性的变化规律, 为进

收稿日期: 2007-06-20

\*通讯作者

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(20436020); 广东省自然科学基金研究团队项目(05200617);

广东省自然科学基金重点项目(04105934)

作者简介: 林静韵(1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向为糖类物质及其药物制备与生物利用。

一步开发和应用超声波技术提供基础数据和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与设备

马铃薯淀粉(优级, 含水14.4%, 纯度99.5%) 美国国民淀粉化学有限公司。

UP400S型超声波设备 德国 Dr. Hielscher 公司; TA-XT2i型质构仪 SMS公司; CL-2型电炉 广州市一恒五金电器厂; DZF-6050X型真空干燥箱 上海博讯实业有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 马铃薯淀粉糊的制备

准确称取马铃薯淀粉, 用蒸馏水将它们配成质量浓度为4.0%、5.0%、6.0%、7.0%、8.0%的悬浮液400 ml, 搅拌使之充分分散, 然后在沸水浴中加热糊化30 min。然后冷却至60℃。

#### 1.2.2 马铃薯淀粉糊的静态超声场作用实验

吸取糊化后的淀粉糊样品100ml, 在60℃下以频率25kHz作用淀粉糊, 超声场作用条件如下: 超声场作用时间0.0、0.5、1.0、5.0、10.0min; 超声场声强: 0、75、150、225、300W/cm<sup>2</sup>; 超声探头直径为7mm, 将超声探头浸入液面2cm, 超声仪占空比为0.5。在处理过程采用60℃热水浴的方法调节反应体系温度, 反应体系温度控制在60.0±1.0℃。超声场作用后的淀粉糊样品置于室温放置16h进行测试。

#### 1.2.3 马铃薯淀粉糊凝胶质构的测定

超声场作用前后淀粉糊的凝胶质构曲线TPA(Texture Profile Analysis)使用SMS公司TA-XT2i型质构仪, 质构的测定采取压缩模式。压缩变形为样品高度的8.00mm, 探头为P/25SS(直径为25mm), 探头下行速度模式为: 测前速度2.0mm/s, 测定速度1.0mm/s, 测后速度5.0mm/s, 数据记录速率200pps。检测温度为室温。测定凝胶曲线TPA。测定过程重复六次的平均值作为测定结果, 计算单一样品测定的六个质构性能参数值的相对标准偏差RSD值。

$$RSD = \frac{\sqrt{\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}}{\bar{x}} \times 100\%$$

式中,  $\bar{x}$  为样品平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 超声场作用时间对凝胶TPA性质的影响

超声场作用时间对马铃薯淀粉凝胶质构特性的影响非常明显。本实验采用25kHz、300W/cm<sup>2</sup>探头式超声

仪研究了不同超声场作用时间对8.0%马铃薯淀粉凝胶TPA性质的变化情况。

图1为超声场作用时间对8.0%马铃薯淀粉凝胶影响的TPA性质图, 表1分别为对应测定的凝胶质构参数。实验过程采用二次压缩模式测量, 所以TPA曲线会出现两次峰值。由图1可知, 超声场作用0.5、1.0、5.0和10.0min后凝胶TPA曲线上的两次峰值均低于未经超声场作用样品的对应峰值, 且峰值随超声场作用时间延长呈下降趋势。实验结果表明, 超声场作用0.5、1.0、5.0、10.0min后, 8.0%马铃薯淀粉凝胶的硬度值由对照组的567.563g降低到531.637、514.697、393.017、285.847g。表1结果表明, 延长超声场作用时间降低了凝胶的硬度值、脆度值、粘性值、胶粘性值和耐咀嚼性值。

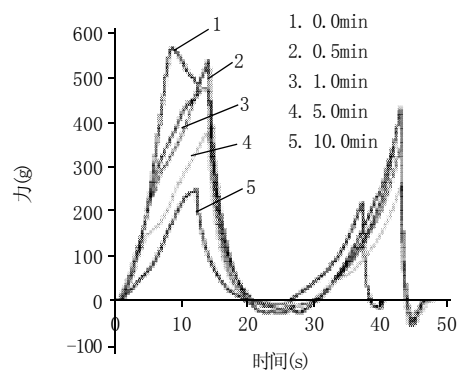


图1 超声场作用时间对8.0%马铃薯淀粉凝胶质构TPA性质的影响  
Fig.1 Effects of ultrasonic time on texture characteristics of 8.0% potato starch paste

在凝胶质构参数中, 硬度是指样品达到一定变形程度所必需的力; 脆度指样品在破裂时所需的力; 粘性表示样品表面和其它物体(舌、牙、口腔等)附着时, 剥落所需要的力。胶粘性和耐咀嚼性分别表示把粘弹体样品咀嚼成能够咀嚼状态所需要的能量和把固体样品咀嚼成能够吞咽状态所需要的能量。淀粉糊在超声场作用下, 受机械性断键作用和空化效应引起的自由基氧化还原反应作用, 溶剂分子运动加快, 从而增大了它与较大的不太运动的大分子的摩擦, 导致摩擦力的增加, 破坏C-C键, 大分子链降解<sup>[6]</sup>, 因此硬度值、脆度值在超声场作用后降低。同时, 中等强度的超声场作用能增加淀粉的水溶性<sup>[7]</sup>, 超声场作用还会降低淀粉的黏度, 这是由于超声场对淀粉分子作用的结果<sup>[8]</sup>, 使得超声后马铃薯淀粉凝胶的粘性值、胶粘性值和耐咀嚼性值降低。在超声场中, 超声场作用时间的增加即意味着能量的累积, 超声场作用时间越长, 其空化作用越强, 搅拌、剪切效果越明显。因此硬度值、脆度值、粘性值、胶粘性值和耐咀嚼性值在超声场作用后降低, 并

表1 超声场作用时间对8.0%马铃薯淀粉凝胶质构参数的影响

Table 1 Effects of ultrasonic time on texture profile parameters of 8.0% potato starch paste

时间(min)	硬度(g)	脆性(g)	粘性(g/s)	弹性	内聚性	胶粘性(g)	耐咀嚼性(g/mm)
0	567.563±0.075	0.827±0.025	-164.905±0.090	0.908±0.008	0.377±0.015	179.882±0.081	171.133±0.007
0.5	531.637±0.019	0.765±0.056	-154.578±0.050	0.905±0.003	0.373±0.036	147.469±0.053	156.709±0.024
1	514.697±0.068	0.731±0.007	-144.156±0.069	0.949±0.016	0.391±0.022	145.370±0.088	133.718±0.025
5	393.017±0.044	0.656±0.080	-68.513±0.072	0.907±0.003	0.406±0.047	143.760±0.014	128.886±0.042
10	285.847±0.095	0.509±0.063	-60.849±0.042	0.930±0.011	0.361±0.069	116.456±0.094	99.604±0.067

表2 超声场作用声强对6.0%马铃薯淀粉凝胶质构参数的影响

Table 2 Effects of sound intensity on texture profile parameters of 6.0% potato starch paste

功率密度(%)	硬度(g)	脆度(g)	粘性(g/s)	弹性	内聚性	胶粘性(g)	耐咀嚼性(g/mm)
0	326.900±0.021	0.868±0.002	-81.315±0.009	0.911±0.016	0.389±0.013	143.623±0.031	137.620±0.025
25	307.648±0.025	0.815±0.014	-70.328±0.045	0.915±0.004	0.349±0.015	139.230±0.042	124.541±0.014
50	281.021±0.025	0.750±0.010	-26.257±0.013	0.912±0.006	0.396±0.023	114.819±0.018	104.543±0.021
75	219.535±0.010	0.872±0.005	-55.167±0.015	0.912±0.003	0.415±0.003	95.987±0.033	96.310±0.023
100	98.991±0.010	0.736±0.009	-50.385±0.029	0.915±0.009	0.398±0.012	68.713±0.066	66.425±0.033

表3 马铃薯淀粉糊浓度对马铃薯淀粉凝胶质构参数的影响

Table 3 Effects of concentration of potato starch on texture profile parameters of potato starch paste

浓度(%)	硬度(g)	脆性(g)	粘性(g/s)	弹性	内聚性	胶粘性(g)	耐咀嚼性(g/mm)
4	41.882±0.014	0.294±0.010	-5.494±0.017	0.877±0.009	0.434±0.027	16.070±0.030	17.747±0.053
5	58.636±0.026	0.660±0.039	-10.759±0.041	0.877±0.005	0.436±0.015	16.635±0.048	23.929±0.036
6	98.991±0.010	0.736±0.009	-50.385±0.029	0.915±0.009	0.398±0.012	68.713±0.066	66.425±0.033
7	246.741±0.045	0.807±0.021	-26.222±0.020	0.915±0.012	0.431±0.010	96.297±0.061	87.283±0.043
8	514.697±0.068	0.731±0.007	-144.156±0.069	0.949±0.016	0.391±0.022	145.370±0.088	133.718±0.025

且超声场作用时间越长作用越大,降低越明显。

## 2.2 超声场声强对凝胶TPA性质的影响

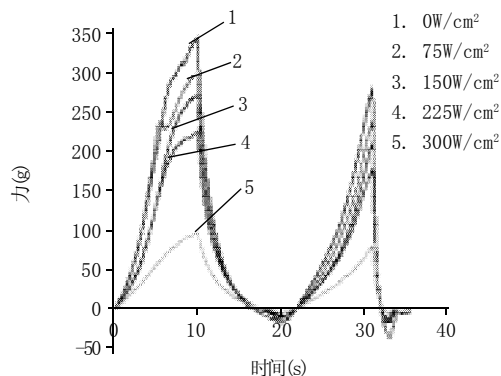


图2 超声场声强对6.0%马铃薯淀粉凝胶质构TPA性质的影响

Fig.2 Effects of sound intensity on texture characteristics of 6.0% potato starch paste

图2 质构曲线及对应表2 质构参数分析表明,与对照样相比,经300W/cm<sup>2</sup>超声场作用1min后6.0%马铃薯淀粉凝胶的硬度值、脆性值、粘性值、胶粘性值和耐咀嚼性值分别由326.900g、0.868g、-81.315g/s、143.623g、137.620g/mm降低到98.991g、0.736g、-50.385g/s、68.713g、66.425g/mm。

超声场声强的增加引起凝胶硬度值、脆性值、粘

性值、胶粘性值和耐咀嚼性值的下降。在超声场作用过程中,马铃薯淀粉分子内氢键受到超声波产生的机械作用、热作用和空化作用破坏,分子结构松散,分子的缠结点减少<sup>[9]</sup>。高强度超声波能形成高能量声场,因此可利用声场对溶液形成的声空化作用对溶液进行超声作用,随超声场声强的增加,超声场能增加,从而产生更强烈的崩溃、搅拌和空化作用,加剧了TPA性质的变化<sup>[10]</sup>。同时,高强度的超声可引发支链淀粉的降解<sup>[7]</sup>。超声场作用淀粉会使淀粉的数均分子量降低,高频率的超声场也会加速降解速度<sup>[11]</sup>。因此随着超声场声强增加,马铃薯淀粉凝胶硬度值、脆性值、粘性值、胶粘性值和耐咀嚼性值降低。

## 2.3 马铃薯淀粉糊浓度对凝胶TPA性质的影响

本实验研究了4.0%、5.0%、6.0%、7.0%、8.0% 5种质量浓度马铃薯淀粉糊在经300W/cm<sup>2</sup>超声场作用1min后凝胶质构变化情况。由图3 质构曲线及表3 实验结果可知,当马铃薯淀粉糊浓度增大时,相应的硬度值、粘性值、耐咀嚼性值由4.0%时的41.882g、-5.494g、17.747g增加到8.0%时的514.697g、-144.156g、133.718g。超声场的机械效应、热效应和空化效应导致马铃薯淀粉凝胶的网络结构发生相应的形变,当淀粉含量增大时,淀粉样品中的分子链相互缠绕程度更大<sup>[12]</sup>,同等超声场能对淀粉凝胶的效应越弱。超声场作用后,

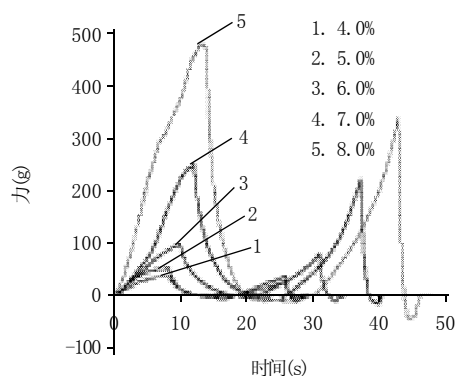


图3 马铃薯淀粉糊浓度对马铃薯淀粉凝胶质构 TPA 性质的影响  
Fig.3 Effects of concentration of potato starch paste on texture characteristics

浓度越高的淀粉凝胶变形所需的力越大,因此硬度值随淀粉糊浓度增大而升高。同时,当马铃薯淀粉含量增大时,由于大分子数目增加,使分子链更易缠结,妨碍淀粉分子的运动,从而使粘性阻力更大<sup>[13]</sup>,相同超声场作用条件下,所形成凝胶的硬度值、胶粘性值和耐咀嚼性下降趋势变小。

### 3 结 论

超声场中马铃薯淀粉的质构特性发生了变化。实验证明:不同超声场作用条件对马铃薯淀粉糊的质构特性有明显影响,淀粉凝胶的硬度值、脆度值、粘性值、胶粘性值和耐咀嚼性值随超声场作用时间的延长和超声场声强增大而降低,可能是由于超声场环境对马铃薯淀粉的降解、水溶性增加、粘度降低等作用;相同超声场作用条件下,随着马铃薯淀粉浓度增大,所形成凝胶

的硬度值、胶粘性值和耐咀嚼性下降趋势变小,原因可能是浓度增大时淀粉缠绕及粘性阻力增加。

### 参考文献:

- [1] KAUR 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: 839-849.
- [2] 于天峰, 夏平. 马铃薯淀粉特性及其利用研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(1): 55-58.
- [3] 梁灵, 魏益民, 张国权. 小麦淀粉凝胶质构特性研究[J]. 中国食品学报, 2004, 4(3): 33-38.
- [4] BAXTER S, ZIVANOVIC S, WEISS J. Molecular weight and degree of acetylation of high-intensity ultrasonicated chitosan[J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19: 821-830.
- [5] PRAKASH M N K, RAMANA K V R. Ultrasound and its application in the food industry[J]. Journal of food science and technology-mysore, 2003, 40(6): 563-570.
- [6] 何小维, 罗发兴, 罗志刚. 物理场改性淀粉的研究[J]. 食品工业科技, 2005(9): 172-174.
- [7] JACKSON D S, CHOTO-OWEN C, et al. Characterization of starch cooked in alkali by aqueous high-performance size-exclusion chromatography[J]. Cereal Chemistry, 1988, 65: 493-496.
- [8] AZHAR A, HAMDY M K. Sonication effect on potato starch and sweet potato power[J]. J Food Sci, 1979, 44: 801-804.
- [9] 罗兴发, 黄强, 阳元娥等. 辛烯基琥珀酸淀粉酯的制备及应用[J]. 华南理工大学学报, 2003, 31(7): 82-85.
- [10] 朱建华, 杨晓泉, 熊健. 超声处理对大豆分离蛋白热致凝胶功能性质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(1): 15-20.
- [11] ISONO Y, KUMAGAI T, WATANABE T. Ultrasonic degradation of waxy rice starch[J]. Biosci Biotech Biochem, 1994, 58(10): 1799-1802.
- [12] 陈玲, 庞艳生, 李晓玺, 等. 球磨对绿豆淀粉结晶结构及糊流变特性的影响[J]. 食品科学, 2005, 26(6): 126-130.
- [13] 李坚斌, 李琳, 陈玲, 等. 超声波对马铃薯淀粉糊流变学特性的影响[J]. 华南理工大学学报, 2006, 34(3): 90-94.

### 信 息

## 我国研制成功富含植酸酶的玉米品种

由中国农科院生物技术研究所完成的“利用玉米种子生物反应器生产高活性植酸酶”项目近日通过鉴定。由国内著名遗传育种专家等组成的鉴定委员会认为,该项目利用种子生物反应器,获得了富含植酸酶的玉米种子。经动物饲喂实验发现,这种植酸酶活性可以显著提高动物的生产性能,大大降低饲料成本和生产能耗,完全可以替代目前微生物发酵生产植酸酶的功效,开创了第二代低成本、环保、节能、高效植酸酶生产的新兴技术领域。

植酸酶是性质优良的饲料添加剂,可以把饲料原料中大量存在的植酸磷分解成无机磷,提高单胃动物对饲料磷的利用率。欧盟、加拿大以及美国等发达国家在上世纪90年代就制定了养殖业强制使用植酸酶的政策;东南亚、日本和韩国近期也将出台法律,把它作为一种“绿色磷”用以取代传统的无机磷酸盐。中国农科院这项成果是由范云六院士领导的课题组,在成功开发出第一代植酸酶产品的基础上,经过7年攻关,利用玉米种子生物反应器生产出具有自主知识产权的转基因玉米纯合系,完全达到中国饲料工业标准1公斤玉米种子添加1000单位植酸酶的要求。

该生产方式与利用发酵方式生产植酸酶相比,不需要厂房、发酵罐等专门的生产设备,生产成本低;生产过程仅是玉米种子的田间生长过程,无需耗费其它能量,也不需再进行产后的提取和纯化,可节约大量能源。此外,酶能在种子中长期稳定保存,无需特殊的保存条件及考虑产品的剂型,易于长距离运输和普及推广。