

淀粉凝胶的微观结构、质构及稳定性研究进展

黄峻榕^{1,2}, 唐晓东¹, 蒲华寅¹

(1. 陕西科技大学 食品与生物工程学院, 陕西 西安 710021; 2. 陕西农产品加工技术研究院, 陕西 西安 710021)

摘要: 对淀粉凝胶的微观结构、质构和冻融稳定性, 以及测定方法和影响因素进行了综述。这些因素包括直链淀粉质量分数、支链淀粉结构、处理条件和食品成分。介绍了改变淀粉凝胶质构、冻融稳定性的各类变性方法, 包括酸变性、氧化变性、交联变性、羧甲基变性、乙酰化变性等。随着淀粉凝胶类产品的品种不断增加, 深入研究添加物对淀粉凝胶特性的影响, 将成为新的研究热点。

关键词: 淀粉; 凝胶; 微观结构; 质构

中图分类号: TS 231 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1689(2017)07-0673-07

Research Progress on the Micro-Structure, Texture Property and Stability of Starch Gel

HUANG Junrong^{1,2}, TANG Xiaodong¹, PU Huayin¹

(1. School of Food and Biological Engineering, Shanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China; 2. Shanxi Research Institute of Agricultural Products Processing Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: The micro-structure, texture and freeze-thaw stability of starch gel, the determination methods and the influencing factors were reviewed. These factors were amylose content, amylopectin structure, conditions of treatment and ingredients in food. Modifications that could change starch gel properties were summarized, including acid modification, oxidation modification, crosslinking modification, carboxymethyl modification, and acetylation modification. With the increasing types of starch gel products, study on the influence of additives on starch gel properties will become a new research hotspot.

Keywords: starch, gel, micro-structure, texture

凝胶是交织的体型聚合物网络中包含溶剂或者单体、低聚物时的一种胶体状态^[1]。食品中, 常见的是蛋白质类凝胶和多糖类凝胶。其中, 淀粉作为一种重要的多糖类物质, 在食品加工过程中形成的凝胶态具有多种应用形式。天然淀粉以颗粒形式存

在于植物体内, 是一种高分子化合物, 经过糊化后会形成具有一定弹性和硬度的透明或半透明的凝胶^[2]。淀粉种类和处理条件的不同, 都会使淀粉的凝胶特性存在差异, 这种差异主要表现在淀粉凝胶的微观结构、质构和冻融稳定性3个方面。淀粉凝胶的

收稿日期: 2015-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371786); 陕西农产品加工技术研究院农产品深加工产业化项目(NYY-090101)。

作者简介: 黄峻榕(1971—), 女, 福建福州人, 工学博士, 教授, 主要从事淀粉资源的开发与利用。E-mail: huangjunrong2000@163.com

引用本文: 黄峻榕, 唐晓东, 蒲华寅. 淀粉凝胶的微观结构、质构及稳定性研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(07): 673-679.

这些特性不仅直接影响了淀粉基食品的加工特性和产品的品质,还可以间接反映出淀粉制品的形态、质构、口感、货架期等^[3-4]。因此研究淀粉凝胶微观结构、质构和冻融稳定性对于淀粉基食品原料的选择,产品的控制以及工艺和设备的设计等具有重要意义。

1 淀粉凝胶的形成机理

天然淀粉是一种半结晶态结构,在过量的水中加热时,淀粉颗粒吸水膨胀,使直链淀粉分子不断从膨润的淀粉颗粒中滤出,并由螺旋结构伸展成线形结构。当对淀粉溶液进一步加热与搅拌后,保留着支链淀粉分子的淀粉残存颗粒发生破裂并进入水相,这是淀粉糊化过程^[5]。将淀粉糊冷却放置过程中,直链淀粉和支链淀粉分子又会通过氢键等作用力发生聚集,形成非均相的混合体系(淀粉凝胶)^[6]。这些是对淀粉凝胶形成过程的理论推断,其实际形成机理还需要细化的实验和深入的验证。图1是淀粉凝胶形成过程的示意图。

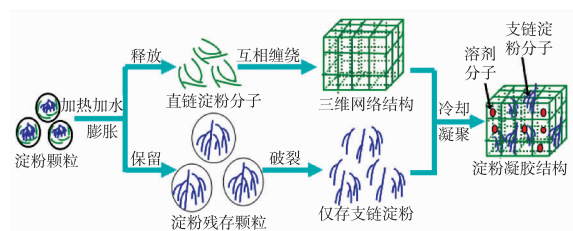


图1 淀粉凝胶的形成过程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of starch gel forming process

2 淀粉凝胶的微观结构、质构及稳定性的研究方法

2.1 淀粉凝胶微观结构的研究方法

淀粉凝胶的微观结构包括网状结构和结晶结构。在淀粉凝胶过程中,这两种微观结构都会随着温度和水分的改变而发生着变化,而且不同淀粉形成的凝胶在微观结构方面也存在着很大差异。汪兰等^[7]通过光学显微镜观察马铃薯、荸荠、银杏和大米淀粉凝胶,发现这4种淀粉凝胶的微观结构分别呈多孔状、片层状、层状间隙以及多孔状。杨玉玲等^[8]采用扫描电子显微镜(SEM)研究了绿豆淀粉凝胶,发现绿豆淀粉凝胶的微观结构为明显的三维网状。对于淀粉品种与淀粉凝胶微观结构之间的关系,目

前尚未发现任何规律。

测定淀粉凝胶结晶结构的方法主要是用X射线衍射法(XRD)。Fu等^[9]利用XRD研究了玉米淀粉糊化程度对其结晶结构的影响,发现糊化程度越高,淀粉形成新结晶的速度越快,B型结晶越明显。Cairns等^[10]利用XRD测定了不同类型淀粉凝胶结晶结构,结果表明无论原淀粉是A型结晶还是B型结晶,所形成的淀粉凝胶结晶结构都是B型结晶。曹立松等^[11]研究发现谷类淀粉凝胶晶体类型取决于淀粉水分质量分数,质量分数高于43%的样品在胶凝过程中显示出B型结晶图谱,低于29%的样品则显示A型结晶图谱,介于两者之间的样品,观察到其显示C型(即A型和B型的组合)结晶图谱。

随着对淀粉凝胶结晶结构的深入研究,测定其结晶结构的方法也越来越多,其中差示扫描量热法(DSC)、差热分析法(DTA)和热重分析(TGA)等是通过测定淀粉凝胶的热焓值来反映结晶区的结构变化。郑铁松等^[12]比较了6种莲子淀粉的凝胶结晶结构变化,结果表明莲子淀粉形成新结晶的速率随贮存时间的延长而增大。Tian等^[13-14]采用DTA和TGA法研究大米淀粉的凝胶结晶结构,发现大米淀粉凝胶形成结晶的速率是随着淀粉贮存时间的延长而增大,可能是由于淀粉凝胶体系束缚水的能力随着淀粉贮存时间的延长而增大。XRD、DSC、DTA和TGA虽然都能反映淀粉凝胶结晶结构的变化,但是单一测定方法对淀粉凝胶结构特性的反映较为片面,目前未见将这几种测定方法进行统一评价分析的报道,还需要多种测定方法结合使用才能进行全面、准确的分析。

2.2 淀粉凝胶质构的研究方法

淀粉凝胶的质构主要是指凝胶的硬度(Hardness)、胶黏性(Gumminess)、弹性(Springiness)和内聚性(Cohesiveness)。淀粉凝胶的这4个质构参数值可通过质构仪(TPA)的压缩模式来测定,其原理是通过模拟人口腔的咀嚼运动,对样品进行两次压缩,得到质构曲线及特性参数^[15]。周显青等^[16]采用质构仪对大米凝胶进行测试,结果表明,用质构仪测定的结果与感官评价指标具有较好的相关性,并建立了可预测大米凝胶质构各指标特征值的数学预测模型。Seetapan^[17]等研究了木薯淀粉对大米淀粉凝胶的质构和微观结构的影响,发现未添加木薯淀粉的质量分数为40%的大米淀粉凝胶容易发生

断裂现象,而将木薯淀粉和大米淀粉按一定质量比混合后形成的凝胶不会发生断裂,且混合淀粉凝胶的硬度、内聚性和弹性随着木薯淀粉比例的增大而增高。这说明大米淀粉凝胶的质构与淀粉的组成和分子结构密切相关,淀粉的直链淀粉与支链淀粉结构以及直链淀粉与支链淀粉的比例,都会影响大米淀粉凝胶的质构。

2.3 淀粉凝胶冻融稳定性的研究方法

冻融稳定性可以用来衡量淀粉承受冷冻和解冻过程引起的负面物理变化的能力。淀粉凝胶在冻藏过程中由于冰晶的形成和增长,使得淀粉凝胶在解冻过程中发生析水现象,即水分从淀粉凝胶的网络结构中析出^[18]。淀粉凝胶的冻融稳定性通常用析水率来表示,主要是通过称量淀粉凝胶离心后分离出的水的质量与淀粉凝胶质量的比值来计算^[19]。谭斌等^[20]对 20 种蚕豆淀粉凝胶进行了 4 次冻融循环,测得它们的平均析水率由 16.5% 增加至 22.1%,这说明蚕豆淀粉凝胶的稳定性随着冻融次数的增加而减小。Charoenrein 等^[21]研究了糯米淀粉和木薯淀粉对大米淀粉凝胶冻融稳定性的影响,将纯大米淀粉凝胶和加入质量分数 2% 糯米淀粉与质量分数

2% 木薯淀粉的大米淀粉凝胶分别冻融循环 5 次后,测得析水率分别为 57.5%、56.8%、45.4%。这说明添加糯米淀粉和木薯淀粉均会提高大米淀粉凝胶的冻融稳定性,且木薯淀粉对大米淀粉凝胶冻融稳定性的影响效果更加明显。他们^[22]在较早的研究中发现,经过相同的冻融循环处理后,直链淀粉质量分数中等(17.6%)的大米淀粉制得凝胶比直链淀粉质量分数高(32.5%)的大米淀粉制得凝胶的析水率低得多。这说明直链淀粉质量分数对淀粉凝胶在冻融循环过程中的自身持水力有一定影响。在冷链贮藏中,冻融稳定性与淀粉凝胶基食品的货架期密切相关,而淀粉凝胶的冻融稳定性不仅与冻融循环过程中胶体自身持水能力有关,同时也受食品成分和处理条件等因素的影响。

3 淀粉凝胶特性的影响因素

在食品加工中,应用淀粉的凝胶特性,可以将淀粉制备成凉粉、搅团、粉条等食品。而淀粉凝胶应用形式的选择主要取决于淀粉的凝胶特性。目前有关淀粉凝胶特性的研究主要集中在影响淀粉凝胶特性的各种因素(图 2)。



图 2 影响淀粉凝胶特性的因素

Fig. 2 Influencing factors of starch gel properties

3.1 淀粉结构对淀粉凝胶特性的影响

3.1.1 直链淀粉质量分数 直链淀粉质量分数是影响淀粉凝胶特性的基础性参数。Zhou 等^[23]研究了直链淀粉质量分数分别为 5.7%、6.7%、30.4%、50.3%、61.0% 和 65.5% 的 6 种红薯淀粉的凝胶质构,发现直链淀粉质量分数越高,淀粉凝胶的硬度和弹性越大。Huang 等^[24]对比了直链淀粉质量分数分别为 21.2%、27.9% 和 43.7% 的鹰嘴豆、豇豆和黄豌豆淀粉凝胶的冻融稳定性,在 -20℃ 下经过 5 次冻融循环后,这 3 种豆类淀粉凝胶的析水率依次为 50.5%、33.2% 和 30.1%,说明直链淀粉质量分数越低,淀粉凝胶的冻融稳定性相对越低。而 Singh 等^[25]将直链淀粉质量分数为 34.3% 的鹰嘴豆淀粉糊在 4℃ 下放置 120 h,测得其析水率为 18.5%,说明淀粉凝

胶的保存温度会影响其析水率,由于水在 0℃ 以下结成冰时体积膨胀,凝胶网络可能被形成的冰晶破坏,凝胶网络越弱,受到的物理性破坏越强,析水率也越大。这说明直链淀粉质量分数对淀粉凝胶冻融稳定性的影响与淀粉凝胶的保存温度密切相关。

3.1.2 支链淀粉结构 Kohyama 等^[26]研究了 3 种小麦淀粉中支链淀粉链长分布比例(短支链与长支链质量比为 1.5:1、3.5:1、5.2:1)与淀粉凝胶质构的关系,发现支链淀粉中长支链比例越高,则淀粉凝胶的硬度和内聚性越大,而弹性和胶黏性越小。Hansen 等^[27]对马铃薯、高直链马铃薯、玉米、蜡质玉米、小麦和豌豆淀粉进行酶变性处理,使它们支链淀粉的长支链(DP60-80)分布率都增加了 15%,结果发现小麦淀粉的凝胶质构参数值整体减小,而其

余 5 种淀粉的凝胶质构参数值整体增大,这说明支链淀粉结构对淀粉凝胶质构的影响效果会因为淀粉品种的不同而有所差异。由于支链淀粉结构本身还存在一些未解之处需要更深入的研究,因此其对淀粉凝胶质构的影响研究难度较大。

3.2 处理条件对淀粉凝胶特性的影响

林静韵等^[28]研究了在不同的超声强度(0、75、150、225、300 W/cm²)中马铃薯淀粉凝胶的质构。对于质量分数为 8% 的马铃薯淀粉糊,在 60 ℃ 下以频率 25 kHz 作用 10 min 后发现形成的淀粉凝胶硬度、胶黏性、弹性和内聚性随超声场声强增大而降低。Bilbao-Sainz 等^[29]对质量分数为 9% 的小麦淀粉糊用不同方法进行处理,结果发现与传统加热方法相比,2 kW 的微波辐射增大了小麦淀粉凝胶的硬度和内聚性,但是这两种处理条件对淀粉凝胶的胶黏性都没有明显影响。罗志刚等^[30]研究了使用 1 kW 微波辐射质量分数为 6% 的木薯淀粉糊 15 s,发现微波处理后淀粉凝胶的析水率为 37.7%,未经微波处理的淀粉凝胶的析水率为 53.2%,结果表明微波处理可以提高木薯淀粉凝胶的冻融稳定性。

Guo 等^[31]研究了高压处理(0、100、200、300、400、500、600 MPa)对质量分数为 15% 的莲子淀粉凝胶质构的影响,发现压力在 500 MPa 以下时,淀粉凝胶的弹性和胶黏性随压力升高而增加,而压力在 600 MPa 时,淀粉凝胶的弹性和胶黏性减小。该结果的产生可能是由于当压力还不能使淀粉分子

长链断裂时,分子结构会随着压力的增加而变小变紧;而当压力超过淀粉分子结构的最大承受力时,淀粉分子的长链就会断裂,从而影响淀粉凝胶的质构。对于淀粉凝胶质构的不同参数指标与分子结构之间的关系以及变化规律尚需进一步研究确定。

3.3 食品成分的影响

食品成分主要是指为了改善食品的风味而在食品当中添加的酸碱类、糖类和无机盐类等物质,这些物质会影响凝胶形成过程中分子之间作用力的大小和作用方式,从而间接地影响了淀粉凝胶的质构。表 1 是食品中的不同成分对不同淀粉凝胶质构的影响^[32-36],从表中可知,酸、碱、蔗糖和氯化钠对淀粉凝胶质构的影响因淀粉品种和添加浓度的不同而存在很大的差异。

4 改变淀粉凝胶质构和冻融稳定性的变性方法

为了使淀粉凝胶的质构(胶黏性、弹性、内聚性等)和冻融稳定性适用于食品、纺织、造纸等领域,并拓展淀粉凝胶的应用形式,已经研发出了各种改变淀粉凝胶质构和冻融稳定性的方法。这些方法主要是为了提高、降低或稳定不同淀粉的凝胶质构和冻融特性。表 2 中是不同种类淀粉经过各类化学变性后,凝胶质构和冻融稳定性的变化^[37-48],从中可以看出不仅仅是淀粉的种类,化学变性的方法和变性的程度也会对淀粉凝胶的这些特性产生影响。

表 1 食品成分对淀粉凝胶质构的影响

Table 1 Effects of food ingredients on texture of starch gel

成分	参数	淀粉质量分数/%	淀粉凝胶质构	参考文献
酸碱(pH)	3.8, 4.6, 5.8, 6.3, 7.5	玉米(20%)	凝胶硬度随着 pH 升高而增大,当 pH=5.8 时,凝胶弹性最低	[32]
	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	马铃薯(8%)	凝胶硬度随 pH 的增加先上升后下降,当 pH=6 时马铃薯淀粉的凝胶硬度最大	[33]
	4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0	蚕豆(8%)	凝胶硬度随 pH 的增加而减小	[34]
蔗糖质量分数/%	5, 10, 15, 20, 25, 30	马铃薯(8%)	凝胶硬度随蔗糖添加量的增加而增大	[33]
	4, 8, 12, 16	绿豆(6%)	凝胶的硬度和弹性均随蔗糖添加量增加而增大	[35]
氯化钠质量分数/%	0.1, 0.5, 1.0, 1.5	玉米(20%)	氯化钠的质量分数为 1.0% 时,凝胶硬度最大	[32]
	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0	马铃薯(8%)	凝胶硬度随食盐添加量的增加而下降	[33]
	0.2, 0.4, 0.6, 0.8	小麦(20%)	凝胶硬度随食盐添加量的增加而增大	[36]

表 2 改变淀粉凝胶质构和冻融稳定性的变性方法

Table 2 Starch modifications related to changes of texture and freeze-thaw stability of starch gel

成分	淀粉质量分数/%	变性程度	淀粉凝胶特性	参考文献
酸变性	马铃薯(10%)	流度 20	冻融稳定性、透明度增大	[37]
	木薯(10%)	流度 20	同上	[38]
氧化变性	马铃薯(10%)	羧基 0.6%	冻融稳定性增大、胶黏性增强	[39]
	木薯(10%)	羧基 0.6%	同上	[40]
	玉米(10%)	羧基 0.4%	凝胶弹性增强	[41]
交联变性	红薯(36%)	沉降积 3.5 mL	冻融稳定性增大	[42]
	西米(40%)	沉降积 3.0 mL	透明度减小	[43]
羧甲基变性	小麦(6%)	取代度 0.43	冻融稳定性增大,透明度增大	[44]
	马铃薯(6%)	取代度 0.39	同上	[45]
乙酰化变性	红薯(36%)	取代度 0.06	冻融稳定性增大、弹性增强	[46]
	木薯(6%)	取代度 0.18	透明度、冻融稳定性增大,硬度减小	[47]
	小麦(10%)	取代度 0.25	冻融稳定性增大,透明度增大	[48]

5 展 望

淀粉凝胶的形成过程至今仍没有一套清晰、完整且可靠的理论体系,要想从更深的层面去了解淀粉凝胶的微观结构与宏观性能之间的关系,必须将淀粉凝胶制品的品质分析要求与不断发展的高分

子科学技术相结合,有效地运用现代高分子的链结构、分子运动、热性能、力学性能及形态转变的科学理论,深入研究酸、碱、盐等添加物对淀粉凝胶特性的影响机理。这将有利于淀粉凝胶特性分析及传统和新型淀粉凝胶制品的开发与品质调控技术的研究,促进淀粉凝胶类食品产业的发展。

参考文献:

- [1] 顾雪蓉,朱育平. 凝胶化学[M]. 北京:化学工业出版社,2004,11:1-2.
- [2] HU Lihua, CHAI Songmin, LIU Jianjun, et al. The scheme of starch granule structures[J]. *Journal of Cereals & Oils*, 2011(3): 1-3. (in Chinese)
- [3] XIONG Shanbai, ZHAO Siming, RAO Yingchang, et al. Study on the properties of rice gel [J]. *Food Science*, 2001, 22(7): 21-25. (in Chinese)
- [4] ONG M H, BLANSHARD J M V. Texture determinants in cooked, Parboiled I: Rice starch amylase and the fine structure of amylopectin[J]. *Journal of Cereal Science*, 1995, 21(3): 251-260.
- [5] HAN Wenfeng, QIU Po, SUN Qingjie, et al. Advance of research on starch gelatinization [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2006, (7): 26-27, 29. (in Chinese)
- [6] 孙玲玲. 淀粉凝胶韧性形成机理的研究[D]. 青岛:青岛农业大学, 2011.
- [7] 汪兰,程薇,乔宇,等. 冻融循环处理对淀粉凝胶结构和性质的影响[C]// 第四届全国农产品加工科研院所联谊会暨中国农产品加工技术创新体系建设研讨会论文集, 2009: 161-168.
- [8] YANG Yuling, ZHANG Mo, CHEN Yinji, et al. Textural properties and microstructure of starch gel from mung bean[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2014, 29(4): 36-41. (in Chinese)
- [9] FU Z, WANG L, LI D, et al. The effect partial gelatinization of corn starch on its retrogradation [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, (97): 512-517.
- [10] CAIRNS P, ANSON K J, MORRIS V J. The effect of added sugars on the retrogradation of wheat starch gels by X-ray diffraction [J]. *Food Hydrocolloids*, 1991, 5(1): 151-153.
- [11] CAO Lisong, LIU Yawei, LIU Jie, et al. Study on the determination of starch aging technology [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2014(3): 30-34. (in Chinese)
- [12] ZHENG Tiesong, LI Qihong, TAO Jinhong, et al. Gelatinization and retrogradation characteristics of 6 kinds of lotus-seed

- starches as studied by differential scanning calorimetry[J]. **Food Science**, 2011(7): 151-155. (in Chinese)
- [13] TIAN Y, XU X, XIE Z, et al. Starch retrogradation determined by differential thermal analysis (DTA)[J]. **Food Hydrocolloids**, 2011, 25(6): 1637-1639.
- [14] TIAN Y, LI Y, XU X, et al. Starch retrogradation studied by thermogravimetric analysis (TGA)[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2011, 84(3): 1165-1168.
- [15] KARIM A A, NORZIAH M H, SEOW C C. Methods for the study of starch retrogradation[J]. **Food Chemistry**, 2000, 71: 9-36.
- [16] ZHOU Xianqing, WANG Yajun, LANG Kaihong, et al. The evaluation model establishment of rice gel measured by texture analyzer[J]. **Cereal & Feed Industry**, 2013(10): 1-4, 9. (in Chinese)
- [17] SEETAPAN N, LIMPARYOON N, GAMONPILAS C, et al. Effect of cryogenic freezing on textural properties and microstructure of rice flour/tapioca starch blend gel[J]. **Journal of Food Engineering**, 2015, 151: 51-59.
- [18] ARUNYANART T, CHAROENREIN S. Effect of sucrose on the freeze-thaw stability of rice starch gels: Correlation with microstructure and freezable water[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2008, 74: 514-518.
- [19] WANG Ziya, DU Xianfeng. Study on the textural properties of acorn (*Castanopsis Calathiformis*) starch [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2012, 33(19): 150-154. (in Chinese)
- [20] TAN Bin, TAN Hongzhuo, TIAN Xiaohong, et al. Physical, gelatinized and retrograded properties of starches from twenty broad bean varieties in China[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2010, 29(3): 370-375. (in Chinese)
- [21] CHAROENREIN S, PREECHATHAMMAWONG N. Effect of waxy rice flour and cassava starch on freeze-thaw stability of rice starch gels[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2012, 90(2): 1032-1037.
- [22] CHAROENREIN S, TATIRAT O, MUADKLAY J. Use of centrifugation-filtration for determination of syneresis in freeze-thaw starch gels[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2008, 73(1): 143-147.
- [23] ZHOU W Z, YANG J, HONG Y, et al. Impact of amylose content on starch physicochemical properties in transgenic sweet potato [J]. **Carbohydrate Polymers**, 2014, 11(3): 512-523.
- [24] HUANG J R, SCHOLS H A, van Soest J J G, et al. Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches[J]. **Food Chemistry**, 2007, 101(4): 1338-1345.
- [25] SINGH N, SANDHU K S, KAUR M. Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars [J]. **Journal of Food Engineering**, 2004(63): 441-449.
- [26] KOHYAMA K, MATSUKI J, YASUI T, et al. A differential thermal analysis of the gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2004(58): 71-77.
- [27] HANSEN M R, BLENNOW A, PEDERSEN S, et al. Gel texture and chain structure of amylomaltase-modified starches compared to gelatin[J]. **Food Hydrocolloids**, 2008(22): 1551-1566.
- [28] LIN Jingyun, LI Lin, LI Jianbin, et al. Study on gel texture properties of potato starch paste in ultrasonic field [J]. **Food Science**, 2007, 28(8): 120-123. (in Chinese)
- [29] BILBAO S C, BUTLER M, WEAVER T, et al. Wheat starch gelatinization under microwave irradiation and conduction heating [J]. **Carbohydrate Polymers: Scientific and Technological Aspects of Industrially Important Polysaccharides**, 2007, 69(2): 224-232.
- [30] LUO Zhigang, ZHOU Zidan. Effect of microwave radiation on properties of cassava starches [J]. **Journal of Cereals & Oils**, 2010(6): 11-12. (in Chinese)
- [31] GUO Z, ZENG S, ZHANG Y, et al. The effects of ultra-high pressure on the structural, rheological and retrogradation properties of lotus seed starch[J]. **Food Hydrocolloids**, 2015, 44: 285-291.
- [32] KIM J Y, HUBER K C. Corn starch granules with enhanced load-carrying capacity via citric acid treatment [J]. **Carbohydrate Polymers**, 2013, 91(1): 39-47.
- [33] YUAN Shasha, XIE Yanli, WANG Jinshui. The advance of the microwave on starch character's effect [J]. **Food Science & Technology**, 2011, 36(7): 242-243. (in Chinese)
- [34] SONG Xiaomin, LIU Jianfu. The textural properties of broad bean starch [J]. **Food Science & Technology**, 2013, 38(6): 180-184. (in Chinese)
- [35] SAMUTSRI W, SUPHANTHARIKA M. Effect of salts on pasting, thermal, and rheological properties of rice starch in the

- presence of non-ionic and ionic hydrocolloids[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2012, 87(2): 1559-1568.
- [36] ZHOU Y, ZHAO D, WINKWORTH S C G, et al. Effect of a small amount of sodium carbonate on konjac glucomannan-induced changes in wheat starch gel[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2014.
- [37] SAARTRAT S, PUTTANLEK C, RUNGSARDTHONG V, et al. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2005, 61(2): 211-221.
- [38] TANG Hongbo, SUN Min, LI Yanping, et al. Comparison of acid-hydrolyzed potato starch, oxidized potato starch with acid-hydrolyzed cassava starch, oxidized cassava starch on properties [J]. **Cereals and Oils Processing**, 2010 (7): 71-74. (in Chinese)
- [39] PIETRZYK S, JUSZCZAK L, FORTUNA T, et al. Effect of the oxidation level of corn starch on its acetylation and physicochemical and rheological properties[J]. **Journal of Food Engineering**, 2014, 120: 50-56.
- [40] DIOP C I K, LI H L, XIE B J, et al. Effects of acetic acid/acetic anhydride ratios on the properties of corn starch acetates[J]. **Food chemistry**, 2011, 126(4): 1662-1669.
- [41] DONG Siqing, TANG Hongbo, LI Yanping, et al. Effect of crosslinking and acetylation on properties of sweet potato starch[J]. **Farm Machinery**, 2013(29): 63-66. (in Chinese)
- [42] ZHANG Liang, ZHANG Benshan. Physico-chemical characteristics of the crosslinking sago starch [J]. **Food and Fermentation Industries**, 2011, 37(4): 48-51. (in Chinese)
- [43] PAN Lijun, MAO Jie, JIANG Shaotong, et al. Study on paste properties of wheat carboxymethyl starch [J]. **Food Science**, 2004, 25(11): 99-102. (in Chinese)
- [44] Dokic L, Dapcevic T, Krstonosic V, et al. Rheological characterization of corn starch isolated by alkali method [J]. **Food hydrocolloids**, 2010, 24(2): 172-177.
- [45] ZHANG Yali, XU Zhong. Studies on the paste properties of potato carboxymethyl starch[J]. **Journal of HeiLongJiang Institute of Commerce(Natural Sciences Edition)**, 2000, 16(3): 30-34, 43. (in Chinese)
- [46] YUAN Huaibo, JIANG Li, CAO Shuqing, et al. Preparation and property of acetified starch from sweet potato[J]. **Food Science**, 2006, 27(10): 245-248. (in Chinese)
- [47] SUN Huimin, MA Xiaojun. Study on comparison of properties of tapioca and complex modified starches [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2008(6): 82-84, 87. (in Chinese)
- [48] SODHI N S, SASAKI T, LU Z H, et al. Phenomenological viscoelasticity of some rice starch gels [J]. **Food Hydrocolloids**, 2010, 24(5): 512-517.

会 议 消 息

会议名称(中文): 2017 年中国微生物学会学术年会

所属学科: 动植物微生物学、生物物理学、生物化学及分子生物学、细胞生物学

开始日期: 2017-10-20

结束日期: 2017-10-24

所在城市: 河南省 郑州市

主办单位: 中国微生物学会

承办单位: 郑州大学、河南省微生物学会

联系电话: +86-10-64807200

E-MAIL: csm@csm.im.ac.cn

会议网站: <http://csm.im.ac.cn/templates/team/introduction.aspx?nodeid=9&page=ContentPage&contentid=4842>

会议背景介绍: 由中国微生物学会主办, 郑州大学和河南省微生物学会共同承办的“2017 年中国微生物学会学术年会”, 定于 2017 年 10 月 20-24 日在河南省郑州市举行。会议热忱欢迎全国从事微生物学研究、教学和开发的专家、学者到华夏文明发祥地——河南郑州相聚; 与会专家、学者在进行学术交流和展示各自研究成果的同时, 还可感受古老的华夏文明和特有的自然风貌。会议诚邀与微生物相关的研发企业及公司参会、赞助会议, 并前往会场展示自己的产品。

征文范围及要求: 1) 微生物组与微生物资源功能挖掘; 2) 病原微生物及耐药; 3) 环境微生物与环境生物技术; 4) 微生物代谢功能及其代谢工程; 5) 青年科学家论坛