

交联变性对淀粉性质影响的研究进展

Advances in the effect of crosslinked modification on the properties of the starch

张佳艳 熊建文 赵 萍 和丽媛

ZHANG Jia-yan XIONG Jian-wen ZHAO Pin HE Li-yuan

(广西科技大学鹿山学院食品与化学工程系, 广西 柳州 545616)

(Department of Food and Chemical Engineering, Lushan College of Guangxi University of
Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545616, China)

摘要:交联变性是常用的一种淀粉改性方法,交联淀粉性质受淀粉源、交联剂的种类、浓度以及交联方法等因素影响。文章综述交联变性对淀粉理化性质、微观结构、热力学特性、晶体结构等性质的影响,为特定功能的交联淀粉的研发及应用提供思路。

关键词:交联变性;淀粉;理化性质;影响因素

Abstract: Crosslinking is a common method to modify starch. The properties of cross-linked starch are affected by the starch source, the kind and concentration of cross-linked agent, and cross-linking method. The affection of crosslinking on the physicochemical properties, microscopic structure, gelatinization properties, and crystal structure of cross-linked starch were reviewed in this study, aiming to provide theoretical references for further research on production and application of cross-linked starch.

Keywords: cross-linked modification; starch; physical and chemical properties; influence factor

淀粉除了作为主副食品之外,还因其可以显著改善食品的质构特性而应用到多种食品的加工中,通常是作为增稠剂、调质剂、胶体稳定剂、胶凝剂、填充剂或保水剂^[1-2]。但由于天然淀粉在高温、较低 pH、剪切力等条件下的稳定性较差,限制了淀粉的应用范围,因此常采用物理、化学或酶法对其进行变性,优化淀粉加工的稳定性。交联变性是常用的一种化学变性方法,该方法是通过交联剂在淀粉分子上的羟基之间形成酯键或醚键,从而改变淀粉的性质。三氯氧磷(POCl_3)、环氧氯丙烷(EPI)、三偏磷酸钠(STMP)、三聚磷酸

钠(STPP)与己二酸和醋酸酐的复合物等都是常用的交联剂。目前国内对淀粉交联变性的研究主要集中在加工工艺的优化上,而交联变性对淀粉性质影响的系统研究较少。本文对国内外交联变性对淀粉性质影响的研究进行综述,为交联淀粉进一步的研发和综合利用提供思路。

1 交联变性对淀粉理化性质的影响

交联变性对淀粉物理化学特性的影响显著,理化性质的改变主要受淀粉种类、交联试剂的种类与交联度的影响^[1]。而物理化学特性的改变则主要体现在淀粉的溶解度、膨胀度、透明度与冻融稳定性等性质的变化。

1.1 膨胀度

淀粉膨胀度主要受支链淀粉与直链淀粉的比例、结晶与无定形区的比例的影响。支链淀粉可促进淀粉颗粒的膨胀,而直链淀粉和脂肪则会抑制其膨胀,当淀粉中的直链淀粉含量越高,其膨胀度越低^[3]。一般来说,交联变性后淀粉的膨胀度下降,主要有两个原因:① 淀粉分子链之间的化学键得到增强,降低了无定形区的移动性,引起淀粉颗粒抗膨胀力的增加;② 有些交联剂会造成淀粉颗粒的表面形成坚硬的外壳,从而抑制了淀粉膨胀,如较高浓度的三氯氧磷^[4-5]。交联后淀粉膨胀度下降的程度主要受以下几方面的影响:① 交联度,淀粉颗粒抗膨胀力随着交联度的增加而增加^[6],因此交联程度越高,膨胀度下降的程度越大;② 淀粉中直链与支链淀粉的比例,直链淀粉的比例越高,经交联变性后其膨胀度下降的程度越大^[7];③ 交联速度,交联速度较快的交联剂要比速度较慢的抑制作用更强,如与环氧氯丙烷相比,高浓度的三氯氧磷能使淀粉膨胀能力更大程度地降低,即膨胀力降低的程度更大^[8]。

1.2 溶解度

溶解度反映了淀粉与溶剂之间相互作用的强弱。交联淀粉的溶解度与膨胀度相关^[9-11]。膨胀度越低,溶解度越低。因此,通常交联能降低淀粉在水与二甲基亚砜^[12]中的

基金项目:广西壮族自治区高等学校科学研究项目(编号: KY2015YB519);广西大学生创新创业项目(编号: 201513639015)

作者简介:张佳艳,女,广西科技大学鹿山学院讲师,硕士。

通信作者:熊建文(1981—),男,广西科技大学鹿山学院副教授,硕士。E-mail: 43725922@qq.com

收稿日期:2017-01-11

溶解度,可能是交联键的存在使淀粉分子的密度增加,导致淀粉颗粒在糊化过程中的分解程度降低^[9]。但这一规律受到交联剂浓度的影响,有报道^[13]显示,低浓度交联剂交联时,溶解度较原淀粉增加,而高浓度交联时,溶解度降低。这是由于低浓度交联剂交联时,水分子能更好地渗透进入淀粉颗粒当中,使淀粉分子浸出,进入水相,从而使溶解度升高;而高浓度交联时,过多的交联键能降低膨胀度,抑制了淀粉分子从淀粉颗粒中浸出,从而使溶解度下降。

1.3 透明度

高度交联淀粉的糊透明度通常较原淀粉降低。原因可能有两个:① 淀粉颗粒糊化不完全,相较于原淀粉,大部分交联淀粉颗粒在 95 ℃时依旧保持完整;② 交联淀粉的膨胀度降低也会导致淀粉糊透明度的降低^[9,14-16]。为拓宽交联淀粉的应用范围,可以将交联与酯化、醚化进行复合变性,改善其糊透明度差的缺点^[17-18]。

1.4 冻融稳定性

淀粉的冻融稳定性通常是将淀粉乳反复冷冻融化一定的周期,测定淀粉乳分层后析出水分的百分比,以析水率表示。通常来说,交联后析水率下降,是由于交联剂所引入的基团能增强体系的保水性,降低脱水缩合作用,且引入交联剂后使相对分子量增加,会抑制淀粉分子链的自由迁移,降低淀粉分子链之间形成重结晶的比例,从而使冻融稳定性提高。

1.5 持水性

交联淀粉的持水性反映了其在一定条件下保持水分的能力。交联淀粉的持水性与淀粉链之间所形成的氢键、共价键的程度相关^[19-20]。由于交联引入的功能基团使淀粉中的氢键减弱,这促使水分进入淀粉颗粒,从而使淀粉持水力增加。Jyothi 等^[21-23]报道了木薯淀粉、魔芋淀粉、多孔交联粳米淀粉在交联后持水性增加。而 Sukhija 等^[22]报道结果显示,将交联与氧化复合变性,可以使变性淀粉的持水性进一步增加。

2 交联变性对淀粉微观结构的影响

交联变性对淀粉性质的改变会体现在淀粉颗粒上。交联淀粉颗粒形貌的改变通常采用扫描电镜和偏光显微镜进行分析。扫描电镜的放大倍率与分辨率较高,可以在放大数千倍的条件下观察淀粉颗粒的超微形貌特征。通常,原淀粉颗粒表面的微观形貌特征为光滑、完整的,没有破损或裂纹。交联后,淀粉颗粒表面的变化与否及变化程度受多种因素影响,如淀粉与交联剂的种类、用量、交联方法等因素。据 Sitohi 等^[24]报道,采用 EPI 与 POCl₃ 交联后,马铃薯淀粉颗粒的表面并未观察到显著的变化,在显微扫描电镜下依旧保持着与原淀粉相似的光滑形态; Atichokudomchai 等^[25-26]^[27]⁵⁰报道了采用三偏磷酸钠交联木薯淀粉、木菠萝淀粉与豌豆淀粉,淀粉颗粒的形貌较原淀粉均未发生太大的改变; Sukhija 等^[22]报道魔芋淀粉颗粒交联后依旧呈现光滑的形貌。而 Carmona-Garcia R 等^[28]制备得到的香蕉交联淀粉颗粒表面出现黑色区域, Singh 等^[1]分析这些黑色区域可能

是由于交联使淀粉颗粒破裂,导致颗粒表面出现凹槽; Ma-jzoobi 等^[29]则发现小麦淀粉经交联后表面出现斑点; 许晖等^[30]采用三偏磷酸钠交联马铃薯淀粉,经电镜扫描发现马铃薯交联淀粉颗粒表面发生明显变化,出现裂纹,且随着取代度的增加,受侵蚀的颗粒增加,凹陷程度加深甚至爆裂; 李晓玺等^[31]研究经三氯氧磷交联的淀粉在微生物降解过程中颗粒形貌的变化,结果发现高度交联的交联变性能有效抑制淀粉颗粒被微生物降解,且交联淀粉颗粒被微生物降解的程度随着交联度的增大而减小。

3 交联变性对淀粉热力学特性的影响

淀粉糊化时淀粉颗粒内的分子失序,表现为淀粉特性的不可逆转变,如膨胀性、溶解性、结晶融化与双折射下降等性质。淀粉的热特性受多方面因素的影响,主要包括淀粉的组成(如直链与支链淀粉的比例、磷、脂、蛋白质和酶的含量等)、支链淀粉的分子结构(链的长度、分支程度、分子量、结晶与非结晶比例)、颗粒形貌与淀粉尺寸分布^[32-34]与交联剂用量等。有多种方法分析淀粉的热力学特性,如差示扫描量热法(Differential Scanning Calorimetry, DSC)、X-射线衍射分析与核磁共振。DSC 是最常用的一种方法,可以用于检测淀粉在热转化过程中的热效应。根据测定得到的 DSC 曲线,研究淀粉交联前后热转变温度与热焓(ΔH)改变的规律。研究发现,热力学特性的改变主要取决于淀粉源、交联条件,同时还取决于交联剂的种类与浓度^[1],如 Choi 等^[35]采用非常低浓度的三氯氧磷交联淀粉,其糊化特性与原淀粉基本一致,而高浓度交联剂则使相转化的终止温度(T_c)与 ΔH 显著升高。Wongsagonsep 等^[13]报道起始温度(T_0)与 ΔH 随着 STMP/STPP 浓度的增加而轻微的增加,终止温度(T_c)随着 STMP/STPP 浓度的增加而轻微的降低,峰值温度(T_p)则不受交联的影响。 T_0 升高是由于交联共价键的形成加强了淀粉分子间的连接,加强淀粉颗粒的完整性,从而使交联淀粉的糊化温度提高; ΔH 主要反映了淀粉颗粒内的分子失序,而淀粉分子失序是需要能量的,因此 ΔH 的提高意味着淀粉热稳定性的提高; Sukhija 等^[22]报道了魔芋淀粉交联后,热转变温度与 ΔH 均升高; Carmona-Garcia^[28]经交联剂类型对香蕉淀粉的物理化学及功能特性的研究发现,热转变温度在经 STMP/STPP、EPI 交联后升高,经 POCl₃ 交联后降低; 但香蕉淀粉经 STMP/STPP、EPI 交联剂交联后 ΔH 均降低,经 POCl₃ 交联后保持不变。Liu 等^[36]分别采用普通玉米淀粉与蜡质玉米淀粉进行交联,结果发现交联得到的玉米交联淀粉的 ΔH 较原淀粉的 ΔH 降低,而蜡质玉米交联淀粉的 ΔH 则较原淀粉的升高。

4 交联变性对淀粉结晶结构的影响

通常采用 X-射线衍射技术研究交联变性对淀粉晶型的影响。通过观察淀粉衍射峰的改变来探究淀粉结晶区的变化。X-射线衍射曲线中尖峰衍射对应着淀粉的结晶结构,弥散衍射则对应着非结晶结构,通过对比交联前后衍射曲线中尖峰衍射与弥散衍射的比例变化及特征,探究交联变性对淀粉结晶性质与结晶度的影响规律^[37]。许晖等^[30,38]研究发

现,马铃薯淀粉与甘薯淀粉经交联变性后,尖峰衍射随着产物取代度的增加而减弱,而弥散衍射则逐渐增强,表明交联对结晶区产生一定程度的影响,使结晶区比例降低。但由于取代度较低,结晶区的破坏程度不足以使淀粉晶型发生改变。对木薯交联淀粉^[25]、蜡质玉米交联淀粉^[39]进行 X-射线衍射分析,结果同样发现原淀粉经交联后其 X-射线衍射峰与原淀粉相似,表明交联并未对淀粉颗粒结晶结构造成影响。

淀粉颗粒的结晶结构使其具有双折射性质,即淀粉颗粒在偏光显微镜下会表现出球晶结构所具有的黑色偏光十字,因此,偏光十字的变化可以一定程度地反映淀粉颗粒结晶结构的变化。而由于交联并未对淀粉颗粒结晶结构造成影响,因此交联淀粉颗粒的偏光十字相较于原淀粉也并未发生明显变化^[30,38]。许晖等^[30,40-41]采用偏光显微镜分别观察马铃薯交联淀粉、大薯交联淀粉与木薯交联淀粉的偏光十字,发现均未发生明显的改变,表明交联并未对淀粉颗粒结晶结构产生影响。但王俊超^{[27]50-53}发现豌豆淀粉经交联后,发生轻微的聚集,少数颗粒的偏光十字中心变得模糊。

5 交联变性对淀粉黏度的影响

淀粉糊化过程中,淀粉颗粒吸水膨胀为原来体积的 50~100 倍,膨胀通常伴随着颗粒组分的浸出(主要是直链淀粉),并形成三维立体网络,变成黏度很大的糊状物。糊状物的流变学特性受直链淀粉的含量、淀粉颗粒的分布、颗粒体积分数、颗粒形状、颗粒间相互作用与连续相黏度的影响^[32,42]。通常采用布拉德黏度仪、快速黏度测定仪或电流计测定淀粉的黏度曲线^[43]。黏度曲线对于评价一种淀粉能否作为某种成分应用于食品中是非常重要的^[44],袁立军等^[45]比较木薯原淀粉、木薯交联淀粉、木薯交联酯化淀粉与乌冬面专用改性淀粉的黏度曲线,发现 3 种改性淀粉的热糊稳定性与冷糊稳定性都优于原淀粉,并以乌冬面专用变性淀粉的优势最为明显,因此其更适用于乌冬面中;荣庆军等^[46]通过研究酯化交联复合变性淀粉的黏度曲线发现,酯化交联淀粉的糊化温度低、耐热性及稳定性较好,耐低温老化,能很好地满足低温肉制品低温贮存、低温蒸煮与杀菌等加工工艺的要求。

交联变性能使淀粉糊的黏度提高,而交联后黏度升高的程度受淀粉的种类、交联剂的种类与交联程度等因素的影响。林亲录等^[47]采用快速黏度测定仪比较了分别以粳米与籼米为原料制备得到的磷酸酯淀粉的糊化特性,结果表明在同样条件下,籼米交联淀粉的黏度要高于粳米交联淀粉;Hirsc 等^[8]研究发现,相较于 STMP、EPI 等交联剂,POCl₃对交联淀粉黏度的影响最为显著;Polnaya 等^[48]研究了不同浓度的 POCl₃对西米交联淀粉黏度的影响,结果表明,低浓度的 POCl₃(DS 为 0.001~0.013)交联可引起淀粉糊最终黏度较大程度的提高,而当取代度增加时,高浓度的 POCl₃(DS 为 0.016~0.018)则显著降低淀粉糊的最终黏度。

6 交联变性对淀粉流变学特性的影响

淀粉在加工中受温度与剪切力的作用,将使其流变学特

性发生改变,进而影响到产品特性。目前的研究中以研究交联淀粉的动态流变特性为主。动态流变特性是在交变应力的作用下,物料所表现出的力学响应规律^[49]。动态流变特性通常采用复合黏度(η^*)、弹性模量(G')、黏性模量(G'')和损失因子[二者的比值 $\tan\delta(G''/G')$]等指标来评价,这些指标均在恒定的频率和加热速率下测定^[50]。Eliasson 等^[51]研究发现,与原淀粉相比较,交联蜡质玉米淀粉的弹性值增加, G' 更高;与原淀粉相比,交联蜡质玉米淀粉糊对加热剪切、温度、低 pH 的抵抗性更强,即稳定性更好。相对较高的交联度会降低 G' 的峰值,这是由交联度会降低膨胀度从而降低颗粒之间的作用程度导致的,因此,淀粉采用相对较低浓度的 POCl₃进行交联,与原淀粉相比,表现出较大的 G' 峰值,以及较低的 $\tan\delta$ 值,而采用较高浓度交联剂进行交联,其结果则刚好相反。Wongsagonsup 等^[13]分别采用 0.25%,0.5%,1.0%,1.5%,2.0%,4.0%,6.0% 的交联剂制备交联木薯淀粉,对其流变学特性试验结果分析发现,1.0%交联剂的交联淀粉的 G' 与 G'' 最高,表明 1.0%交联淀粉膨胀颗粒的体积分数足够高可以同时产生弹性网络结构与颗粒间的摩擦。1.0%交联淀粉的损失因子相当小且很稳定,表明其有较高的凝胶强度与一致性,而试验中其他交联淀粉的 $\tan\delta$ 也均比原淀粉的低,表明交联能增加凝胶强度。Yoneya 等^[52]同样发现马铃薯原淀粉的 $\tan\delta$ 要高于交联淀粉。总的来说,交联后 G' 的增加通常伴随 $\tan\delta$ 的降低,表明有交联聚合物的形成。Power law 常数 A 值和 B 值常用于分析交联淀粉的凝胶强度。共价凝胶的 $B=0$,物理凝胶的 $B>0$ 。 B 值和凝胶强度有关^[53]。Wongsagonsup 等^[13]的研究中,1.0%交联淀粉糊的 B 值最低 A 值最高,表明 1.0%交联淀粉的凝胶结构比原淀粉与其他交联淀粉的强度都要强。这一结果与 Khondkar^[54]所报道的结果类似,其所报道的交联蜡质玉米淀粉的 B 值最低, A 值最高。

流变特性根据淀粉源的不同有显著差异,可能是由直链淀粉与支链淀粉的比例、支链淀粉侧链的链长度、结晶度与淀粉颗粒尺寸分布等不同引起的。如马铃薯淀粉中尺寸较大的颗粒占比较大,因此其淀粉分子更容易发生交联反应,交联后流变特性发生较大程度的改变。另外,交联位点的不同也会引起交联淀粉流变特性的不同^[9,52]。

7 展望

目前交联淀粉主要作为增稠剂与调质剂应用于酱料、汤、烘焙食品与乳制品当中^[1]。但随着市场的进一步开放,食品多样化的要求促使特定功能的变性淀粉的开发成为发展的主要趋势。因此对交联淀粉性质的影响因素进行研究,对开发特定功能的交联淀粉具有重要意义。

尽管交联淀粉改进了原淀粉的某些缺陷,但其本身仍存在不尽人意的地方。因此可以通过研究其性质的影响因素来对其缺陷进行弥补。目前的趋势是将交联与其他改性手段结合使用,从而弥补传统变性淀粉使用范围狭窄的不足,扩大变性淀粉的应用范围。另外,不同的交联方法,如传统水浴法、微波法与超声波法等也将对交联淀粉产生不同的效

应。因此,也可通过探讨不同的交联手段对其性质的影响以制备特定用途的交联淀粉。

参考文献

[1] SINGH J, KAUR L, MCCARTHY O J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications: A review[J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21(1): 1-22.

[2] 吴立根, 王岸娜. 复合变性淀粉提高鸡胸肉保水率的研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(3): 25-26.

[3] TESTER R F M W R. Swelling and gelatinization of cereal starches II: Waxy rice starches[J]. Cereal Chem, 1990, 67(6): 558-563.

[4] GLUCK-HIRSCH J B, KOKINI J L. Determination of the molecular weight between crosslinks of waxy maize starches using the theory of rubber elasticity[J]. Journal of Rheology, 1997, 41(1): 129-140.

[5] HUBER K C, BEMILLER J N. Location of Sites of Reaction Within Starch Granules[J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(2): 173-180.

[6] INAGAKI T, SEIB P A. Firming of bread crumb with cross-linked waxy barley starch substituted for wheat starch[J]. Cereal Chemistry, 1992, 69(3): 321-325.

[7] SHUKRI R, SHI Y-C. Physiochemical properties of highly cross-linked maize starches and their enzymatic digestibilities by three analytical methods[J]. Journal of Cereal Science, 2015, 63: 72-80.

[8] HIRSCH J B, KOKINI J L. Understanding the Mechanism of Cross-Linking Agents (POCl₃, STMP, and EPI) Through Swelling Behavior and Pasting Properties of Cross-Linked Waxy Maize Starches[J].Cereal Chemistry, 2002, 79(1): 102-107.

[9] KAUR L, SINGH J, SINGH N. Effect of cross-linking on some properties of potato (Solanum tuberosum L.) starches[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(12): 1 945-1 954.

[10] KOO S H, LEE K Y, LEE H G. Effect of cross-linking on the physicochemical and physiological properties of corn starch[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(6): 619-625.

[11] KURAKAKE M, AKIYAMA Y, HAGIWARA H, et al. Effects of cross-linking and low molecular amylose on pasting characteristics of waxy corn starch[J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 66-70.

[12] YEH A N I Y S L. Some characteristics of hydroxypropylated and cross-linked rice starch[J]. Cereal Chemistry, 1993, 70(5): 596-601.

[13] WONGSAGONSUP R, PUJCHAKARN T, JITRAKBUMRUNG S, et al. Effect of cross-linking on physicochemical properties of tapioca starch and its application in soup product [J]. Carbohydr Polym, 2014, 101: 656-665.

[14] LIM S, SEIB P. Preparation and pasting properties of wheat and corn starch phosphates[J]. Cereal Chemistry, 1993, 70: 137-137.

[15] MORIKAWA K, NISHINARI K. Rheological and DSC studies

of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures [J]. Carbohydrate Polymers, 2000, 43 (3): 241-247.

[16] WOO K, SEIB P A. Cross-linking of wheat starch and hydroxypropylated wheat starch in alkaline slurry with sodium trimetaphosphate [J]. Carbohydrate Polymers, 1997, 33(4): 263-271.

[17] 伍亚华, 石亚中. 交联-羧甲基淀粉糊性质研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(6): 16-19.

[18] 谭义秋. 木薯淀粉交联羧甲基改性及工艺优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 9-12.

[19] POLICEGOUDRA R S, ARADHYA S M. Structure and biochemical properties of starch from an unconventional source; Mango ginger (Curcuma amada Roxb.) rhizome [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(4): 513-519.

[20] BERTON B, SCHER J, VILLIERAS F, et al. Measurement of hydration capacity of wheat flour: influence of composition and physical characteristics [J]. Powder Technology, 2002, 128(2): 326-331.

[21] JYOTHI A N, MOORTHY S N, RAJASEKHARAN K N. Effect of Cross-linking with Epichlorohydrin on the Properties of Cassava (Manihot esculenta Crantz) Starch [J]. Starch - Stärke, 2006, 58(6): 292-299.

[22] SUKHIJA S, SINGH S, RIAR C S. Effect of oxidation, cross-linking and dual modification on physicochemical, crystallinity, morphological, pasting and thermal characteristics of elephant foot yam (Amorphophallus paeoniifolius) starch [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 55: 56-64.

[23] 胡霞. 粳米多孔淀粉和变性淀粉的制备与应用[D]. 无锡: 江南大学, 2006: 35.

[24] SITOHY M Z, RAMADAN M F. Granular Properties of Different Starch Phosphate Monoesters[J]. Starch - Stärke, 2001, 53(1): 27-34.

[25] ATICHOKUDOMCHAI N, VARAVINIT S. Characterization and utilization of acid-modified cross-linked Tapioca starch in pharmaceutical tablets[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 53(3): 263-270.

[26] KITTIPONGPATANA O S, KITTIPONGPATANA N. Preparation and physicochemical properties of modified jackfruit starches[J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44(8): 1 766-1 773.

[27] 武俊超. 豌豆抗性淀粉的制备及其性质研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.

[28] CARMONA-GARCIA R, SANCHEZ-RIVERA M M, MÉNDEZ-MONTEALVO G, et al. Effect of the cross-linked reagent type on some morphological, physicochemical and functional characteristics of banana starch (Musa paradisiaca) [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 76(1): 117-122.

[29] MAJZOOBI M, BEPARVA P. Effects of acetic acid and lactic acid on physicochemical characteristics of native and cross-linked wheat starches[J]. Food Chem., 2014, 147: 312-317.

[30] 许晖, 孙兰萍, 赵大庆, 等. 马铃薯交联淀粉的制备与结构表征 [J]. 中国粮油学报, 2007, 22(5): 67-72.

[31] 李晓玺, 陈玲, 李琳. 三氯氧磷交联淀粉生物降解过程中形貌和结晶结构的变化[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 13-15.

[32] KAUR L. Factors influencing the properties of hydroxypropylated potato starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 55(2): 211-223.

[33] 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(5): 839-849.

[34] SINGH N, KAUR L. Morphological, thermal, rheological and retrogradation properties of potato starch fractions varying in granule size [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(10): 1 241-1 252.

[35] CHOI S-G, KERR W L. Swelling Characteristics of Native and Chemically Modified Wheat Starches as a Function of Heating Temperature and Time [J]. Starch - Stärke, 2004, 56(5): 181-189.

[36] LIU Hui-jun, RAMSDEN L, CORKE H. Physical Properties of Cross-linked and Acetylated Normal and Waxy Rice Starch [J]. Starch - Stärke, 1999, 51(7): 249-252.

[37] 陈福泉, 张本山, 卢海风, 等. X-射线衍射在淀粉颗粒结晶度研究中的应用 [J]. 食品科学, 2010, 31(3): 284-287.

[38] 许晖, 孙兰萍, 赵大庆, 等. 甘薯交联淀粉的制备与结构表征 [J]. 包装与食品机械, 2007, 25(2): 29-33, 37.

[39] 程东, 洪雁, 庞艳生, 等. 交联和羟丙基改性对蜡质玉米淀粉糊化和流变性质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(3): 18-23.

[40] 盛灵芝. 大薯交联羟丙基淀粉的超声—微波合成研究 [D]. 海口: 海南大学, 2013; 52.

[41] 罗明昌, 陈淦辉, 袁立军. 乌冬面专用变性淀粉及其结构表征 [J]. 粮食与油脂, 2011(7): 11-13.

[42] MORIKAWA K, NISHINARI K. Effects of Granule Size and Size Distribution on Rheological Behavior of Chemically Modified Potato Starch [J]. Journal of Food Science, 2002, 67(4): 1 388-1 392.

[43] 黄峻榕, 许亚伦. 淀粉黏度性质研究最新进展 [J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 7-11.

[44] ADEBOWALE K O, LAWAL O S. Functional properties and retrogradation behaviour of native and chemically modified starch of mucuna bean (Mucuna pruriens) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(15): 1 541-1 546.

[45] 袁立军, 扶雄. 乌冬面专用改性淀粉制备及其性质研究 [J]. 粮食与油脂, 2009(8): 22-24.

[46] 荣庆军, 周海涛. 浅谈酯化交联淀粉在低温肉制品的应用 [J]. 肉类工业, 2014(9): 52-54.

[47] 林亲录, 肖华西. 两种大米淀粉及其磷酸酯淀粉理化特性的比较研究 [J]. 食品与机械, 2009, 25(4): 9-13.

[48] POLNAYA F J, HARYADI, MARSEN D W, et al. Effects of phosphorylation and cross-linking on the pasting properties and molecular structure of sago starch [J]. International Food Research Journal, 2013, 20(4): 1 609-1 615.

[49] 吴其晔. 高分子材料流变学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002; 1-10, 65-75.

[50] ELIASSON A C. Starch in food: structure, function and applications [M]. Boca Roton: CRC Press, Woodhead Pub, 2004; 380-382.

[51] ELIASSON A C, FINSTAD H, LJUNGER G. A Study of Starch - Lipid Interactions for Some Native and Modified Maize Starches [J]. Starch - Stärke, 1988, 40(3): 95-100.

[52] YONEYA T, ISHIBASHI K, HIRONAKA K, et al. Influence of cross-linked potato starch treated with POCl₃ on DSC, rheological properties and granule size [J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 53(4): 447-457.

[53] HSU Shan-hui, LU Shu-liang, HUANG Can. Viscoelastic Changes of Rice Starch Suspensions During Gelatinization [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(2): 215-220.

[54] KHONDKAR D, TESTER R F, HUDSON N, et al. Rheological behaviour of uncross-linked and cross-linked gelatinised waxy maize starch with pectin gels [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21(8): 1 296-1 301.

信息窗

中国食品科学技术学会食品科技基金设立

在 4 月 20 日举行的“2017 国际食品安全大会”开幕式上,中国食品科学技术学会与雅培共同设立“中国食品科学技术学会食品科技基金——雅培食品营养与安全专项科研基金”。该基金旨在引领食品营养与安全科学技术的创新和跨学科融合,推动中国营养健康食品产业的进步。

中国食品科学技术学会副理事长兼秘书长邵薇及雅培营养全球研发副总裁 Hakim Bouzamondo 出席签约仪式。中国食品科学技术学会理事长孟素荷教授,中国工程院院士、国家食品安全风险评估中心陈君石研究员及雅培营养中国研发中心关岩总监等嘉宾共同见证了基金会的成立。

中国食品科学技术学会理事长孟素荷表示:“很高兴能够与全球领先的医疗保健公司雅培携手,共同设立‘中国食品科学技术学会食品科技基金—雅培食品营养与安全专项科研基金’。中国食品科学技术学会作为中国食品科技界的代表,参与组织影响中国食品工业与科技发展的重要决策咨询工作。我们将通过学会的平台和资源,更好地促进这样的民间国际交流。”雅培的有关负责人表示,将与中国食品科学技术学会一起,为一系列创新的营养科学与技术研究项目提供支持和保障。

(来源:www.foodmate.net)