

测定醋酸酯淀粉热力学特性的方法研究进展

尚佳萃, 刘洁*, 刘亚伟

(河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要: 与原淀粉相比, 醋酸酯淀粉具有糊化温度低、黏度及透明度高、不凝胶、成膜性好等特点。不同取代度的醋酸酯淀粉热力学特性也不同。本文综述了测定醋酸酯淀粉热力学特性的方法, 主要测定仪器有差示扫描量热仪、布拉班德粘度仪、偏光显微镜, 测定方法的影响因素有醋酸酯淀粉的取代度、淀粉来源、淀粉颗粒的大小、试剂类型等, 并总结了醋酸酯淀粉在食品中的应用。低取代度的醋酸酯淀粉作为增稠剂、乳化剂和稳定剂等添加到速冻等冷藏冷冻食品中, 使食品的组织结构和风味得到改善, 提高食品的冻融稳定性和耐藏性, 改善食品的加工性能和产品质量等。分析测定变性淀粉的热力学等特性, 对于改进变性的方法和工艺, 增强变性淀粉的功能性有着特殊的作用。

关键词: 醋酸酯淀粉; 热力学特性; 测定

Research progress of methods for measuring the thermodynamic properties of acetate starch

SHANG Jia-Cui, LIU Jie*, LIU Ya-Wei

(College of Grain, Oil and Food, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: Acetate starch have many advantages, compared with the native starch, such as lower gelatinization temperature, higher viscosity and transparency, difficult to form gel, good film-forming property and so on. The thermodynamic properties of acetate starch are different with different substitution degree. The methods for detecting the thermodynamic properties of acetate starch are summarized in this paper. The main measuring instruments are differential scanning calorimetry, brabender amylo viscograph and polarizing microscope. The factors of these methods included the substitution degree of acetate starches, the origins of starch, starch granular size and the reaction reagents, etc. The applications of acetate starches in food are also summarized briefly. Low substitution degree of acetate starches are added in the frozen food as thickening agent, emulsifier and stabilizer, making the structure and the flavor of food to be better, improving freeze-thaw stability and storage property of food, and improving food processing performance and product quality. Analyzing the thermodynamic and other properties of the modified starch have a special role in improving the technology and functionality of modified starch.

KEY WORDS: acetate starch; thermodynamic properties; determination

基金项目: 河南工业大学科技创新人才培养计划(2013CXRC03)

Fund: Supported by Plan for Scientific Innovation Talent of Henan University of Technology (2013CXRC03)

*通讯作者: 刘洁, 副教授, 主要研究方向为碳水化合物化学。E-mail: gongda8407@163.com

*Corresponding author: LIU Jie, Associate Professor, College of Grain, Oil and Food, Henan University of Technology, No. 100, Lianhua Avenue, Zhengzhou 450001, China. E-mail: gongda8407@163.com

1 引言

随着经济的发展, 人们生活水平的提高使其对食品质量的要求也越来越高。食品在满足感官品质的基础上, 还要满足自身加工、储藏过程中品质变化的特殊要求, 所以在食品中合理添加改良剂是必要的, 变性淀粉就是其中的一种改良剂。变性淀粉中最安全的淀粉醋酸酯, 是淀粉结构中的羟基被有机酸酯化而得到的一类变性淀粉^[1]。淀粉分子中葡萄糖单位的 C₂、C₃、C₆ 上的羟基, 在碱性条件下被有机酸——醋酸、醋酸酐、醋酸乙烯等酯化剂取代, 即生成淀粉醋酸酯^[2]。改性后, 淀粉原有的晶形结构遭到破坏并发生重构, 结晶度降低; 淀粉醋酸酯的热特性也发生较大变化, 主要表现为玻璃化温度和熔融温度降低, 由此说明淀粉醋酸酯相对于原淀粉具有更好的热塑性^[3-5]。经过乙酰化作用后的淀粉醋酸酯的最大特点是糊化温度显著的降低。这是由于乙酰基取代了羟基中的氢, 即基团增大, 使分子之间的距离增大, 分子之间的氢键受到了破坏, 结合力减弱, 故糊化需要的能量比原淀粉降低, 所以醋酸酯淀粉糊化温度降低^[6-7]。复合变性的交联淀粉醋酸酯对高温、高剪切力和低 pH 影响具有更好的黏度稳定性^[8-11]。低取代度淀粉醋酸酯主要应用于食品工业, 具有糊化温度低、黏度及透明度高、不凝胶等特点^[12-14]; 使用较多的是含有 0.5%~2.5% 乙酰基的淀粉醋酸酯, 主要用作增稠剂、稳定剂、成膜剂等^[15]。高取代度淀粉醋酸酯在生物可降解材料等领域应用, 成膜性好, 热塑性优良^[16-19]。

2 热力学特性测定

2.1 差示扫描量热仪(DSC)

在淀粉研究中, DSC 主要用于研究淀粉糊化程度、糊化特性、淀粉糊回生程度及淀粉颗粒晶体结构相转移温度测定^[20]。DSC 是在程序升温下, 保持待测物质与参照物温度差为零, 测量待测物质和参照物的热量差随温度变化的一种技术。按热力学分析, 淀粉糊化过程可当成是淀粉微晶的熔融过程, 颗粒发生了从有序到无序的相转变, 包括淀粉颗粒的吸水吸热、溶胀水化、结晶态消失及糊粘度急剧增加等复杂现象, 所以应用 DSC 可以测定其热焓值^[21]。淀粉糊化过程中伴随的能量变化在 DSC 图谱上表现为吸热峰, 通过考察图谱上峰形、峰位置和峰面积的变化情况, 可以分析测定淀粉的糊化温度及糊化焓^[22]。完全糊化的淀粉样品在 DSC 分析过程中为无吸收峰的平坦直线, 所以淀粉 DSC 分析过程中根据吸热峰面积(即热焓值 ΔH)的大小可估测淀粉糊化度的大小^[23]。糊化后的淀粉在 DSC 分析中不出现吸热峰, 但当淀粉分子重排回生后便形成很多结晶结构。若破坏这些晶体结构, 使淀粉分子重新熔融, 则必需外加能量。因此, 回生后的淀粉在 DSC 分析中应出现吸

热峰, 且吸热峰的大小随淀粉回生程度增加而增大, 就此可以估测回生后淀粉的回生程度^[24]。DSC 的优点为适用的样品水分范围广, 试样盒密封, 样品水分不变, 可直接测出实验中试样的热量变化, 具有省时、不需要额外的技术等优点。

2.1.1 影响因素

2.1.1.1 取代度

应用 DSC 对玉米淀粉和醋酸酯淀粉的糊化现象进行研究, 图 1^[4]为玉米淀粉和醋酸酯淀粉的 DSC 分析结果: 醋酸酯淀粉的起始糊化温度低于玉米原淀粉, 随着取代度的增加醋酸酯淀粉的热焓值降低。玉米原淀粉的熔融温度即 T_m 为 274 °C。淀粉醋酸酯取代度为 0.20 时, 淀粉的 T_m 为 267 °C。淀粉取代度为 2.82 时, 淀粉 T_m 为 210 °C。由此可知随着取代度增加 T_m 降低, 这可能是酯化过程中削弱了淀粉的氢键, 分子之间的空间增大, 分子链运动时受到的摩擦力减小, 导致分子链运动自由度增加^[25]。此外, 回生程度随取代度的升高而降低。

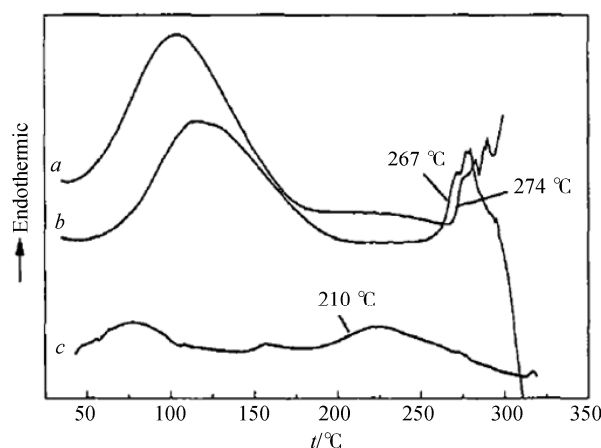


图 1 玉米淀粉和醋酸酯玉米淀粉的差示扫描量热曲线
Fig. 1 DSC curves of native corn starch and starch acetates
DS: a. 0.00; b. 0.20; c. 2.82

2.1.1.2 淀粉来源

马铃薯、玉米淀粉随着取代度的增加糊化温度降低, 热焓值也逐渐下降。由表 1^[26]可知, 马铃薯醋酸酯淀粉的起始糊化温度、峰值温度、最终糊化温度比玉米醋酸酯的低, 热焓值高。这或许与它的颗粒大小、不同的紧密程度及脂类的存在有关。玉米淀粉比马铃薯淀粉颗粒小且紧密, 相同条件下马铃薯醋酸酯淀粉的取代度高于玉米醋酸酯淀粉。

2.1.1.3 试剂类型

黄豌豆、豇豆、鹰嘴豆淀粉经乙酰化作用表现出低的糊化起始温度。同样的情况也发生在经乙酸酐或醋酸乙烯酯处理而发生改性的大米、洋刀豆、马铃薯淀粉等。这是由于引入乙酰基使原淀粉的结构发生改变。淀粉用乙酸酐

和醋酸乙烯发生乙酰化作用得到的醋酸酯淀粉糊化起始温度差异很小。

用乙酰酐改性后黄豌豆、豇豆、鹰嘴豆淀粉比原淀粉的热焓值低。如表 2^[27]用醋酸乙烯改性的黄豌豆和鹰嘴豆淀粉比原淀粉的热焓值低,而豇豆淀粉热焓值升高。黄豌豆淀粉用乙酸酐和醋酸乙烯发生乙酰化作用后两者的焓值相似。豇豆、鹰嘴豆淀粉用乙酰酐比用醋酸乙烯发生乙酰化作用得到的醋酸酯淀粉焓值低。

2.2 布拉班德粘度仪(BV)

从布拉班德粘度曲线中可得出糊化温度、糊化速率、黏度稳定性和糊凝沉性变化趋势等数据^[28]。加热升温、热保温、降温 and 冷保温中粘度与温度变化关系可用曲线完整记录下来。布拉班德粘度曲线体现的是淀粉与水整个混合物体系糊化状态,而不是某个淀粉颗粒溶胀情况^[29]。

布拉班德粘度仪升温、降温速率较慢,测试时间较长,一般超过 2 h,样品用量较大,约 27~45 g;测试性能较稳定,获得的信息量也较大,重现性较好,能更全面、准确地反映淀粉糊的粘度性质^[30]。

淀粉糊化温度越低,则其完全糊化需要的能量就越少。升温终点粘度到降温起点粘度这一段持续高温的作用下粘度变化能反映糊化淀粉对于温度和剪切作用的耐受能力。稳定性好和糊化温度高的淀粉在这一阶段能保持粘度,甚至粘度增加,淀粉在降温终点粘度增加反映淀粉浓度增

加能力^[20]。

淀粉浆液在升温过程中,淀粉颗粒缓慢膨胀。当达到糊化的温度时,淀粉便大量吸收水分而发生溶胀变成淀粉糊,从而使体系的黏度快速增大^[31-32]。玉米淀粉经过酯化反应得到的醋酸酯淀粉黏度增加,这是由于乙酰基团的引入,淀粉链之间通过氢键结合力的减弱,使淀粉颗粒变得松弛,亲水性提高,因此糊化在较低温度下即可进行,同时由于膨胀率增加使其粘度增加^[5, 33]。在自然冷却放置过程中,玉米淀粉和醋酸酯淀粉糊化液随着放置时间的延长,玉米淀粉黏度仍有增加倾向,而醋酸酯淀粉的黏度则趋于稳定^[6]。

2.2.1 影响因素

2.2.1.1 取代度

由表 3^[34]知,木薯淀粉引入乙酰基后,随着取代度的提高,糊化温度相应降低。同时,由于淀粉颗粒的亲水性与膨胀性增加,不同取代度的醋酸酯淀粉产生峰值黏度逐渐上升,回生值普遍降低。由此可见,引入不同取代程度的乙酰基后,淀粉醋酸酯的糊化特性发生明显的改变^[35]。槟榔芋淀粉经乙酰化后其透明度和糊化峰值黏度比原淀粉有较大的提高,且易糊化,黏度热稳定性提高,抗老化性能及抗凝胶特性等有所增强^[36]。将其应用于食品工业生产中,对改善食品的感官品质起重要作用。马铃薯醋酸酯淀粉与原淀粉相比黏度有所提升,且峰值黏度随取代度的增加呈现升高趋势^[37]。

表 1 相同取代度的马铃薯及玉米淀粉的热特性差异

Table 1 Difference of thermal properties of potato and corn starches with the same substitution degree

乙酸酐(g/100 g 淀粉)	马铃薯淀粉				玉米淀粉			
	T ₀ ()	T _p ()	T _c ()	ΔH(J/g)	T ₀ ()	T _p ()	T _c ()	ΔH(J/g)
原淀粉	57.4	62.6	69.1	12.1	69.2	73.3	77.4	10.6
2	55.9	61.1	67.9	11.4	69.3	73.2	77.4	9.7
4	54.2	59.5	66.4	10.4	66.3	71.3	76.2	9.4
6	52.8	58.1	65.1	10.2	66.3	71.2	76.2	9.2
8	54.2	59.1	64.9	10.2	65.8	70.4	75.3	9.1
10	53.4	58.7	65.4	10.2	65.2	70.2	75.1	9.0
12	48.8	54.4	61.7	10.1	65.2	70.2	75.1	8.9

表 2 豆类淀粉不同试剂改性后的热特性

Table 2 Thermal characteristics of the bean starch modified with different reagents

淀粉	黄豌豆		豇豆		鹰嘴豆	
	T ₀ ()	ΔH(J/g)	T ₀ ()	ΔH(J/g)	T ₀ ()	ΔH(J/g)
原淀粉	58.2	16.1	70.5	15.2	57.9	17.6
乙酸酐改性	54.2	13.7	65.5	15.6	55.2	15.8
醋酸乙烯改性	55.3	14.2	64.8	20.0	54.7	17.2

表3 不同取代度与峰值黏度的关系
Table 3 The relationship between different degree of substitution and peak viscosity

样品 指标	原淀粉	1	2	3	4	5	6
取代度	0	0.035	0.047	0.054	0.068	0.072	0.086
峰值黏度	542	557	582	613	676	710	760

2.2.1.2 淀粉颗粒大小

黄豌豆醋酸酯淀粉中不同大小的颗粒糊化温度相似,而这种情况也发生在豇豆和鹰嘴豆醋酸酯淀粉中。黄豌豆、鹰嘴豆的原淀粉和醋酸酯淀粉颗粒越小峰值黏度越高,而豇豆淀粉醋酸酯淀粉的大颗粒和小颗粒的峰值黏度差异较小^[27]。

2.2.1.3 试剂类型

不论颗粒大小,黄豌豆、豇豆、鹰嘴豆醋酸酯淀粉用醋酸乙烯改性得到的醋酸酯淀粉峰值粘度和溶胀体积都高于乙酸酐改性的醋酸酯淀粉。从黄豌豆中分离部分尺寸小于 20 μm 的颗粒,用醋酸乙烯改性得到的醋酸酯淀粉比用乙酸酐改性的醋酸酯淀粉取代度低,但是峰值黏度和溶胀体积高于用乙酸酐改性的醋酸酯淀粉,这种差异可能不是醋酸酯淀粉取代度引起的,而是由于乙酰基的不同分布形式^[27]。

2.3 偏光显微镜

原淀粉颗粒具有结晶性结构,分子有规律排列。在偏光显微镜下观察,有序排列的分子链具有双折射性,淀粉颗粒上可以看到明显的偏光十字^[38,39]。根据酯化反应原理,淀粉的酯化反应首先在淀粉分子链无序排列的无定形区发生,然后才与有序排列的分子链形成的结晶区的羟基作用,从而使淀粉的结晶结构破坏,偏光十字消失。因此,低取代度的醋酸酯淀粉颗粒仍可观察到少量偏光十字。随着产品取代度的提高,偏光十字减弱。原因是淀粉颗粒中参与反应的羟基数目逐渐增多,淀粉原有的结晶结构遭受破坏,形成无序的结构^[40]。

3 醋酸酯淀粉在食品中的应用

速冻水饺因其味美价廉、方便快捷而深受人们的青睐。但是在生产和运输过程中,速冻水饺易发生破裂、失水、褐变等现象,使产品的品质受到严重影响,阻碍了其生产和销售^[41]。低取代度醋酸酯淀粉的亲水性比原淀粉有所提高,其糊化温度较低,且具有抗老化性、凝沉性弱、黏度高、透明度高、储存稳定等优点,食品在低温时保水性较好。醋酸酯淀粉添加在饺子皮中可使饺子的冻裂情况、抗冻融性得到有效改善,提高速冻水饺的品质^[42]。

方便面生产中常使用醋酸酯淀粉,因为其糊化温度低、透明度高、糊丝长、成膜性好,使面条具有光洁、平滑的外表,其口感爽滑筋道,蒸煮时间缩短,防止混汤、断

条,同时降低了吸油量^[43-44]。醋酸酯淀粉添加到面粉中,可提高鲜湿面条蒸煮特性,降低烹饪时间,减少煮熟时面条的断条率,提高面条低温贮藏稳定性,有效地改善了鲜湿面条的品质^[45]。

醋酸酯淀粉糊化温度比原淀粉低,溶液呈电中性,有抗凝沉作用,浆糊及薄膜的透明度均有提高。因此,被广泛用作食品的增稠剂及保型剂^[46]。经交联的醋酸酯淀粉常用作罐头和容器包装的婴儿食品、水果和奶乳馅的填充料,能在温度变化条件下,长期存放于货架上^[47-49]。另外在冷冻水果馅、菜肉馅、肉汁馅中使用也有利于低温储存^[50]。

参考文献

- [1] 陈渊, 杨家添, 朱万仁, 等. 机械活化木薯淀粉制备低取代度醋酸酯淀粉的研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35 (17): 53-57.
Chen Y, Yang JT, Zhu WR, *et al.* Study on preparation for cassava starch acetate with low degree of substitution using mechanical activated cassava starch [J]. Food Res Dev, 2014, 35 (17): 53-57.
- [2] 刘亚伟. 玉米淀粉生产及转化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003, 213-217.
Liu YW. Production and conversion technology of corn starch [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003, 213-217.
- [3] 陈渊, 杨家添, 韦庆敏, 等. 尿素缓释膜材料——机械活化醋酸酯淀粉的制备及其膜性能[J]. 江苏农业学报, 2014, (3): 520-526.
Chen Y, Yang JT, Wei QM, *et al.* Preparation of mechanically activated starch acetate of ester—film material for carbamide controlled release and its film performance [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2014, (3): 520-526.
- [4] 朱军峰, 张光华, 李俊国. 高取代度玉米醋酸酯淀粉的制备与表征[J]. 应用化学, 2006, 23(9): 1010-1013.
Zhu JF, Zhang GH, Li JG. Preparation and characterization of corn starch acetate with high degree of substitution [J]. Chin J Appl Chem, 2006, 23(9): 1010-1013.
- [5] 李海龙, 付晓燕, 陈鹏, 等. 微波辅助法合成淀粉醋酸酯及其理化性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(2): 31-36.
Li HL, Fu XY, Chen P, *et al.* Research on microwave assisted synthesis of starch acetate and its physical and chemical properties [J]. Food Ferm Ind, 2011, 37(2): 31-36.
- [6] 孙平, 高秀敏, 张津凤, 等. 玉米淀粉醋酸酯的制备与物性研究[J]. 天津科技大学学报, 2006, 21(3): 15-19.
Sun P, Gao XM, Zang JF, *et al.* Preparation of corn starch acetate and study on its properties [J]. J Tianjin Univ Sci Technol, 2006, 21(3): 15-19.
- [7] Kalita D, Kaushik N, Mahanta CL. Physicochemical, morphological, thermal and IR spectral changes in the properties of waxy rice starch modified with vinyl acetate [J]. J Food Sci Technol, 2014, 51(10): 2790-2796.

- [8] 刘彩芬. 变性淀粉在造纸、食品工业中的应用研究现状[J]. 黑龙江造纸, 2015, (1): 24–27.
Liu CF. Application research status of modified starch in paper making and food industry [J]. Heilongjiang Pulp Paper, 2015, (1): 24–27.
- [9] 谢远. 马铃薯原淀粉及变性淀粉的特点及应用[J]. 中国马铃薯, 2014, (3): 180–184.
Xie Y. Characteristics and utilization of potato native starch and modified starch [J]. Chin Potato J, 2014, (3): 180–184.
- [10] 姜毅. 碎米生产酸解醋酸酯复合变性淀粉的研究[J]. 粮食科技与经济, 2012, (5): 39–41.
Jiang Y. Research on the production of the acidolysis acetate composite modified starch with broken rice [J]. Grain Sci Technol Econ, 2012, (5): 39–41.
- [11] 李文飞, 张换换, 刘军海. 复合交联淀粉制备工艺研究进展[J]. 化工科技市场, 2010, 33(8):27–29.
Li WF, Zhang HH, Liu JH. Research progress in preparation technique of complex cross-linked corn starch [J]. Chem Technol Mark, 2010, 33(8): 27–29.
- [12] Sajilata MG, Singhal RS. Specialty starches for snack foods [J]. Carbohydr Polym, 2005, 59(2):131–151.
- [13] 芦艳, 马征, 王琦旗, 等. 酯化改性淀粉的表征[J]. 化工新型材料, 2014, 42(4): 167–169.
Lu Y, Ma Z, Wang QQ, *et al.* Characterization of esterified modified starch [J]. New Chem Mater, 2014, 42(4): 167–169.
- [14] Diop CIK, Li HL, Xie BJ, *et al.* Effects of acetic acid/acetic anhydride ratios on the properties of corn starch acetates [J]. Food Chem, 2011, 126(4): 1662–1669.
- [15] 李春胜, 杨红霞. 酯化淀粉及其应用[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(6): 84–86.
Li CS, Yang HX. The esterification of starch and its application [J]. Food Res Dev, 2005, 26(6): 84–86.
- [16] Shogren LR, Biswas A. Preparation of water-soluble and water-swelling starch acetates using microwave heating [J]. Carbohydr Polym, 2006, 64(1): 16–21.
- [17] Guan J, Hanna MA. Functional properties of extruded foam composites of starch acetate and corn cob fiber [J]. Ind Crops Prod, 2004, 19(3): 255–269.
- [18] 张光华, 周小丰, 来智超. 交联剂对玉米淀粉醋酸酯/PVA 可降解复合膜性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(8):164–167.
Zhang GH, Zhou XF, Lai ZC. Impact on the performance of crosslinking agent of corn starch acetate/PVA biodegradable composite membrane [J]. Polym Mater Sci Eng, 2007, 23(8): 164–167.
- [19] 黄晓杰, 张春红, 赵前程, 等. 高直链玉米淀粉-PVA 共混塑料薄膜的制作工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2006(3):160–161.
Huang XJ, Zhang CH, Zhao QC, *et al.* Research on the production process of blend plastic film with high amylose maize starch and PVA [J]. Sci Technol Food Ind, 2006, (3): 160–161.
- [20] 叶为标. 淀粉糊化及其检测方法[J]. 粮食与油脂, 2009, (1): 7–10.
Ye WB. The starch gelatinization and its detection methods [J]. Cereals Oils, 2009, (1): 7–10.
- [21] 郑学玲, 张玉玉, 张杰. 青稞淀粉的特性、分离及应用[J]. 粮油加工, 2010, (3):57–61.
Zheng XL, Zhang YY, Zhang J. Characteristics, separation and application of barley starch [J]. Cereals Oils Process, 2010, (3): 57–61.
- [22] 李洁, 田翠华, 项丽霞, 等. 莲藕淀粉糊化温度测定方法的比较[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(3): 70–72.
Li J, Tian CH, Xiang LX, *et al.* Comparison of the methods in measuring gelatinization temperature of lotus root starch [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2007, 22(3): 70–72.
- [23] 黄立兰, 黄广明, 劳晔. 淀粉糊化度测定方法的研究进展[J]. 饲料工业, 2014, 35(13): 53–57.
Huang LL, Huang GM, Lao Y. Research progress of the methods of determining the degree of starch gelatinization [J]. Feed Ind, 2014, 35(13): 53–57.
- [24] 周国燕, 胡琦玮, 李红卫, 等. 水分含量对淀粉糊化和老化特性影响的差示扫描量热法研究[J]. 食品科学, 2009, 30(19):89–92.
Zhou GY, Hu QW, Li HW, *et al.* DSC study of effects of water content on gelatinization and aging of starch [J]. Food Sci, 2009, 30(19): 89–92.
- [25] 刘莹. 黄姜醋酸酯淀粉的制备工艺及其产物的表征[D]. 天津: 天津科技大学, 2008.
Liu Y. The preparation of turmeric acetate starch and the characterization of its product [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2008.
- [26] Singh N, Chawla D, Singh J. Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch [J]. Food Chem, 2004, 86(4): 601–608.
- [27] Huang J, Schols HA, Jin Z, *et al.* Characterization of differently sized granule fractions of yellow pea, cowpea and chickpea starches after modification with acetic anhydride and vinyl acetate [J]. Carbohydr Polym, 2007, 67: 11–20.
- [28] 赵安庆, 张晓宇. 淀粉粘度测定方法综述[J]. 甘肃联合大学学报: 自然科学版, 2005, 19(2):87–88.
Zhao AQ, Zhang XY. The detection methods of viscosity of starch [J]. J Lanzhou Univ Arts Sci(Nat Sci Edit), 2005, 19(2): 87–88.
- [29] 宁玄鹤, 李冠华. 小红豆淀粉糊及其凝胶性质的研究[J]. 粮油加工, 2010, (4):70–73.
Ning XH, Li GH. Research on the starch paste of little red bean and its gel property [J]. Cereals Oils Process, 2010, (4):70–73.
- [30] 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.
Huang JY, Xu YL. Latest research progress on starch viscosity property [J]. Food Mach, 2011, 27(6): 7–11.
- [31] 魏显华, 党斌. 马铃薯淀粉糊化工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(12): 6512–6514.
Wei XH, Dang B. Study on gelatinization technology of potato starch paste [J]. J Anhui Agric Sci, 2010, 38(12): 6512–6514.
- [32] 黄强, 罗发兴, 扶雄. 变性淀粉糊粘度的检测方法比较[J]. 中国胶粘剂, 2005, 14(12):44–46.
Huang Q, Luo FX, Fu X. Comparison of methods detecting the viscosity of modified starch paste [J]. China Adhes, 2005, 14(12): 44–46.
- [33] 吴伟都, 施文蓉, 贲东旭, 等. 取代度对醋酸酯变性淀粉及新鲜湿面品质的影响[J]. 粮食与食品工业, 2010, 17(2): 29–31.
Wu WD, Shi WR, Ben DX, *et al.* Influences of degree of substitution on denatured starch acetate and quality of wet noodle [J]. Cereal Food Ind, 2010, 17(2): 29–31.
- [34] 方东平, 毕阳, 史琦云, 等. 木薯醋酸酯淀粉的工艺条件筛选[J]. 粮食

- 加工, 2013, (3):48-50.
- Fang DP, Bi Y, Shi QY, *et al.* The process conditions screening of cassava starch acetate [J]. Grain Process, 2013, (3): 48-50.
- [35] 曹余, 田映良, 吴隆民, 等. 不同原料醋酸酯淀粉的制备及性能研究[J]. 粮食加工, 2013, 38(6): 48-51.
- Cao Y, Tian YL, Wu LM, *et al.* The research in preparation and properties of the acetate starch using different raw materials [J]. Grain Process, 2013, 38(6): 48-51.
- [36] 陈发河, 杜秀杰, 吴光斌. 低取代度槟榔芋醋酸酯淀粉制备及分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(11): 35-42.
- Chen FH, Du XJ, Wu GB. The preparation and analysis of pinang-taro acetate starch with low degree of substitution [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2013, 13(11): 35-42.
- [37] 唐洪波, 马冰洁. 低取代度马铃薯醋酸酯淀粉合成工艺及性能研究[J]. 精细石油化工进展, 2004, 5(3): 44-47.
- Tang HB, Ma BJ. Research on synthesis process and performance of potato acetate starch with low degree of substitution [J]. Adv Fine Petrochem, 2004, 5(3): 44-47.
- [38] 胡强, 孟岳成. 淀粉糊化和回生的研究[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(5): 63-66.
- Hu Q, Meng YC. A review on the gelatinization of rice starch and aging [J]. Food Res Dev, 2004, 25(5): 63-66.
- [39] 曹清明, 钟海雁, 李忠海, 等. 蕨根淀粉糊化温度测定及影响因素研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 16-19.
- Cao QM, Zhong HY, Li ZH, *et al.* Determination of pasting temperature and its effect factors of pteridium squilinum influence [J]. Food Mach, 2007, 23(3): 16-19.
- [40] 迟惠, 徐昆, 薛冬桦, 等. 高取代度玉米淀粉醋酸酯的合成与表征[J]. 精细化工, 2007, 24(2): 178-181.
- Chi H, Xu K, Xue DH, *et al.* The synthesis and characterization of corn starch acetate with high degree of substitution. [J]. Fine Chem, 2007, 24(2): 178-181.
- [41] 吉慧明, 杜冰, 梁淑茹, 等. 速冻水饺生产技术和研究进展[J]. 食品与机械, 2006, 22(6): 162-164.
- Ji HM, Du B, Liang SR, *et al.* Technology and research progress of quick-frozen dumpling [J]. Food Mach, 2006, 22(6): 162-164.
- [42] 米佳, 梁艳, 李桂华, 等. 醋酸酯淀粉对速冻水饺品质的影响[J]. 江苏调味副食品, 2014, (4): 27-30.
- Mi J, Liang Y, Li GH, *et al.* The influence of acetate starch in the quality of quick-frozen dumplings [J]. Jiangsu Cond Subs Food, 2014, (4): 27-30.
- [43] 陶锦鸿, 郑铁松. 变性淀粉在制品中的应用[J]. 食品工业科技, 2009, 30(10):344-347.
- Tao JH, Zheng TS. Application of modified starch in pasta products [J]. Sci Technol Food Ind, 2009, 30(10): 344-347.
- [44] 刘丽艳, 赵凯, 杨春华, 等. 淀粉及变性淀粉在面条品质改良中的应用[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2011, 27(1):51-53.
- Liu LY, Zhao K, Yang CH, *et al.* Application of starch and modified starch in quality improvement of noodles [J]. J Harbin Univ Commerce (Nat Sci Edit), 2011, 27(1): 51-53.
- [45] 何绍凯, 孙琛, 刘文娟, 等. 不同原料醋酸酯淀粉性能比较及在鲜湿面条中应用[J]. 粮食加工, 2014, (1): 30-32.
- He SK, Sun C, Liu WJ, *et al.* Performance comparison of acetate starch with different materials and the application in fresh wet noodles [J]. Grain Process, 2014, (1): 30-32.
- [46] 苏晶莹. 乙酰化马铃薯粉的变性工艺研究[J]. 轻工科技, 2014, (7): 4-5, 9.
- Su JY. Research on the degeneration process of acetylated potato flour [J]. Light Ind Sci Technol, 2014, (7): 4-5, 9.
- [47] 石佳, 辛嘉英, 王艳, 等. 酯化改性淀粉研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 395-399.
- Shi J, Xin JY, Wang Y, *et al.* Research progress in esterification starch [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, 35(2): 395-399.
- [48] 宁希焯, 刘亚伟, 刘晓峰. 大米淀粉特性及修饰作用对其食用功能的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2011, (3): 35-38.
- Ning XY, Liu YW, Liu XF. Rice starch properties and the influence of modification on its edible function [J]. Cereal Feed Ind, 2011, (3): 35-38.
- [49] 梁露锋, 玉琼广, 冯琳, 等. 食用木薯变性淀粉的发展与应用[J]. 轻工科技, 2014, (12): 1-3.
- Liang LF, Yu QG, Feng L, *et al.* Development and application of edible cassava modified starch [J]. Light Ind Sci Technol, 2014, (12): 1-3.
- [50] 唐洪波, 孙敏, 李艳平, 等. 乙酰化酸解糯玉米变性淀粉的制备及性能研究[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 71-75.
- Tang HB, Sun M, Li Y, *et al.* Preparation of acetylated acidolysis modified starch of waxy maize and research on its properties [J]. Food Sci, 2011, 32(2): 71-75.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介

尚佳萃, 硕士研究生, 主要研究方向为谷物资源转化与利用。
E-mail: gongda8407@163.com

刘洁, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为碳水化合物化学。
E-mail: gongda8407@163.com