

甘薯淀粉磷酸单酯的制备及凝沉性质的研究

何传波¹, 潘丽军², 李琳¹, 陈玲¹, 李冰¹

(1. 华南理工大学食品与生物工程学院, 广东 广州 510640;

2. 合肥工业大学生物与食品工程学院, 安徽 合肥 230069)

摘 要: 以甘薯淀粉为原料与混合正磷酸盐作用, 采用湿法工艺制备甘薯淀粉磷酸单酯。利用五因素二次正交旋转组合试验法研究了淀粉磷酸单酯制备的工艺条件并得出回归方程, 直观地揭示了取代度与诸因素之间的数量关系。甘薯淀粉磷酸单酯是很好的食品添加剂, 在应用中淀粉糊的凝沉性质对食品的外观和品质有着重要影响, 因此本文专门对甘薯淀粉磷酸单酯的凝沉特性进行了研究。结果表明, 酯化反应导致了淀粉糊凝沉性降低, 透明度和冻融稳定性提高; 而 NaCl 的加入可显著增加糊的凝沉倾向, 蔗糖则有减弱凝沉倾向的作用。

关键词: 甘薯淀粉; 磷酸酯化; 制备; 凝沉性质

Study on Preparation and Retrogradation of Phosphate Monoesters Made of Sweet Potato Starch

HE Chuan-bo¹, PAN Li-jun², LI Lin¹, CHEN Ling¹, LI Bing¹

(1. College of Food and Biological Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China

2. School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230069, China)

Abstract: Starch phosphate monoesters as excellent food additives were prepared with sweet potato starches as raw material by the wet process. Sweet potato starches were esterified by disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) and sodium dihydrogen phosphate (NaH_2PO_4). The regression equation describing the relationship between degree of substitution (DS) and different preparation conditions was obtained by means of the five-factors quadratic regression orthogonal rotary method. With respect to its significant influence on visual appearance and quality of food products, the retrogradation of starch phosphate monoesters was investigated in detail. The results showed that the retrogradation of the esterized starches weakened in comparison with that of raw sweet potato starches, and their paste clarity and freeze-thaw stability improved. The experiments also showed that the retrogradation of starch phosphate monoesters would increase when they were dispersed into sodium chloride solution, but would decrease in sucrose solution.

Key words: sweet potato starch; esterification; preparation; retrogradation

中图分类号 TS235.2

文献标识码 A

文章编号 1002-6630(2004)09-0108-05

淀粉磷酸单酯是一种应用广泛的淀粉衍生物, 是淀粉与磷酸盐在特定条件下的反应产物。与原淀粉相比, 淀粉磷酸单酯具有糊透明、粘度高、抗老化、稳定性好的特性和良好的保水性能^[1]。不同取代度的淀粉磷酸单酯已广泛应用于食品、化工、医药等行业^[1,2]。

国外对于淀粉磷酸单酯的研究开展较早, 现在已经进入大规模商品生产阶段, 如荷兰温顿艾维贝公司生产的 NyलगumA 淀粉和日本三和淀粉工业公司的 PSS-4 淀粉。基于淀粉磷酸单酯的优良特性, 磷酸酯化淀粉也开始引起国内科研工作者的重视, 但大多研究是以马铃薯或玉米淀粉为原料, 有关甘薯淀粉磷酸单酯的研究在

国内外报道很少。我国甘薯资源丰富, 产量占世界总产量的 80% 左右, 甘薯淀粉的深加工问题急需解决。本文立足于我国的资源优势, 以甘薯淀粉为原料合成淀粉磷酸单酯, 优化其制备工艺, 并对产物的凝沉性质进行了深入地研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料

甘薯淀粉, 一级品, 桐城乐健食品有限公司淀粉厂生产; 磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、尿素和钼酸铵等均为分析纯试剂。

收稿日期: 2003-11-28

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(000453); 广东省优秀人才培养基金资助项目(Q02042)

作者简介: 何传波(1978-), 男, 博士, 研究方向为多糖物质及其综合利用。

1.2 试验方法

1.2.1 甘薯淀粉磷酸单酯的制备

称取定量的甘薯淀粉,分散于磷酸盐溶液中浸泡,充分搅拌,过滤,滤饼在50℃以下干燥至含水量10%左右,然后,进行固相酯化反应,用水或醇溶液洗涤后,得到淀粉磷酸单酯,具体的工艺流程如下:

淀粉↓ ↓ HCl或NaOH

磷酸盐溶液→调pH值→搅拌→过滤→预干燥→

↓ 水或醇

过筛→酯化反应→洗涤→产物

1.2.2 取代度DS的测定

产物总磷含量的测定采用GB12092-89^[3]方法进行;游离磷测定是用盐酸溶解试样,过滤后取滤液进行显色反应,查标准曲线计算得到。总磷减去游离磷得到结合磷含量。

取代度DS的计算公式为^[4,5]:

$$DS = \frac{\text{磷含量}/31}{100 - 3.32 \times \text{磷含量}} = \frac{5.23 \times \text{磷含量}}{100 - 3.32 \times \text{磷含量}}$$

162

其中:162—淀粉分子的每个葡萄糖质量;

31—磷的原子量。

1.2.3 五因素二次正交旋转组合试验设计

固定酯化剂用量,选取酯化剂配比(Z_1)、pH值(Z_2)、酯化反应温度(Z_3)、反应时间(Z_4)、催化剂用量(Z_5)为影响取代度(Y)的因素,确定五因素的水平上限与下限,并对每个因素的水平编码,得编码表1。由此确定的试验方案及结果见表2。

1.2.4 透明度的测定^[6]

准确称取1.00g样品(干基),分散于100g蒸馏水或氯化钠、蔗糖的溶液中,配成浓度1%(W/V)的淀粉乳,放入沸水浴中加热糊化并保温20min,冷却至室温。用紫外可见分光光度计于650nm处的透光率,1cm比色皿,以蒸馏水为空白。同一样品测定三次,取平均值。

1.2.5 沉降体积的测定

取1.2.4的淀粉糊50ml,在室温下静置24h后观察其分层情况,并记录沉降物的体积。

1.2.6 冻融稳定性的测定

6%(W/V)的淀粉乳充分糊化,冷却至室温后,于-10~-20℃的冰箱内保存24h后取出,室温下自然解冻,3000r/min离心20min,计算冻融后的析水百分率。

2 结果与讨论

2.1 甘薯淀粉磷酸单酯的制备

2.1.1 试验结果的统计分析

为了以最少的实验次数确定取代度和各因素之间的关系及各因素影响的主次顺序,并寻求制备的最佳工艺条件进行了正交旋转组合试验。对试验结果的方差分析如表3。

$$Y = 1.2097 - 0.0258X_2 + 0.0742X_3 + 0.0125X_4 + 0.0092X_5 - 0.0112X_1X_2 - 0.0075X_1X_5 + 0.0125X_3X_4 - 0.0075X_3X_5 - 0.0136X_2^2 + 0.0177X_4^2 - 0.0098X_5^2$$

对回归方程进行失拟检验: $F_1 = (S_{if}/f_{if}) / (S_{\text{误}}/f_{\text{误}}) = 2.94 < 3.37 = F_{0.05}(6, 9)$;

回归方程进行显著性检验: $F_2 = (S_{\text{回}}/f_{\text{回}}) / (S_{\text{剩}}/f_{\text{剩}}) = 10.29 > 3.37 = F_{0.01}(20, 15)$;

相关系数: $R^2 = S_{\text{回}}/S_{\text{总}} = 0.93197$ 。

由以上计算可知:该方程的显著性水平为0.01,且拟合得很好。将中心处理公式及各因素编码公式代入,得欲求回归方程为:

$$Y = 0.2820 + 0.0688Z_1 + 0.1616Z_2 + 0.0034Z_3 - 0.2101Z_4 + 0.0539Z_5 - 0.0094Z_1Z_2 - 0.0025Z_1Z_5 + 0.0008Z_3Z_4 - 0.0002Z_3Z_5 - 0.0136Z_2^2 + 0.0177Z_4^2 - 0.0016Z_5^2$$

2.1.2 最佳制备工艺条件的确定

由方差分析表可以看出:在一次项中,浸泡液的pH值和酯化反应温度对DS影响高度显著,反应时间对其影响显著,催化剂的添加量的影响较显著;交互项中,只有酯化剂配比与pH值的交互项及反应温度与时间的交互项对DS有较显著影响;二次项上,pH值和反应时间的二次项影响高度显著,催化剂的添加量也有

表1 因素水平编码表
Table 1 Level and coding of each factors

编码值	Z_1	Z_2	$Z_3(^{\circ}\text{C})$	$Z_4(\text{h})$	$Z_5(\text{淀粉重}\%)$
r	5	8	170	5	10
1	3.8	7	155	4	7.5
0	2.6	6	140	3	5
-1	1.4	5	125	2	2.5
-r	0.2	4	110	1	0
X_i	$X_1 = (Z_1 - 2.6) / 1.2$	$X_2 = (Z_2 - 6) / 1$	$X_3 = (Z_3 - 140) / 15$	$X_4 = (Z_4 - 3) / 1$	$X_5 = (Z_5 - 5) / 2.5$

表2 正交旋转设计试验方案及结果
Table 2 Scheme and results of regression orthogonal rotary design

试 验 号	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X ₁ '	X ₂ '	X ₃ '	X ₄ '	X ₅ '	Y _i
0	1	2	3	4	5	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	2	3	4	5	5	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.25
2	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.19
3	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.09
4	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.11
5	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.35
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.26
7	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.19
8	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.17
9	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.25
10	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.23
11	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.15
12	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.09
13	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.33
14	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.27
15	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.12
16	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.15
17	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.33	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.26
18	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.33	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.23
19	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	3.33	-0.67	-0.67	-0.67	1.14
20	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	3.33	-0.67	-0.67	-0.67	1.21
21	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	3.33	-0.67	-0.67	1.40
22	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	3.33	-0.67	-0.67	1.04
23	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	3.33	-0.67	1.31
24	1	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	3.33	-0.67	1.29
25	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	3.33	1.21
26	1	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	3.33	1.17
27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.22
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.24
29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.23
30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.22
31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.19
32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.21
33	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.18
34	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.19
35	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.23
36	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	1.18

显著影响。

利用计算机对回归方程进行组合寻优, 约束条件为: 反应温度 $\leq 140^{\circ}\text{C}$, 时间 $\leq 3\text{h}$, 催化剂添加量 $\leq 5\%$, 最后得出的最优制备条件为: 酯化剂的配比为3:1, 浸泡液的pH值5.5左右, 酯化反应温度 $130\sim 140^{\circ}\text{C}$, 反应时间 $2\sim 3\text{h}$, 催化剂添加量为淀粉重的 $4\%\sim 5\%$ 。

2.2 甘薯淀粉磷酸单酯凝沉性质的研究

2.2.1 磷酸酯化对甘薯淀粉凝沉性质的影响

凝沉是一种与糊化相反的现象, 糊化的淀粉放置一段时间后, 不同淀粉链又自动排列成序, 重新聚集成致密不溶性的淀粉分子微晶束, 糊液的透明度、沉降体积和冻融析水率均能反映出淀粉的凝沉性质。按前述

表5 甘薯淀粉磷酸单酯在不同溶液中的凝沉特性

Table 5 Retrogradation in different media

样品(DS0.014)	蒸馏水	NaCl溶液(%)				蔗糖溶液(%)				
		2	5	8	10	5	10	20	30	40
透明度	45.8	28.3	22.8	20.6	19.7	47.8	48.6	54.3	58.2	61.5
沉降体积(ml)	37.5	5.2	6.6	10.2	12.0	44.8	44.4	46.8	50	50
冻融析水率(%)	10.8	19.0	24.8	26.8	31.0	6.5	0	0	0	0

表3 方差分析表

Table 3 Regression variance analysis

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F 值	显著水平 α
X_1	0.00027	1	0.00027	< 1	
X_2	0.01602	1	0.01602	32.10	0.01
X_3	0.13202	1	0.13202	264.62	0.01
X_4	0.00375	1	0.00375	7.52	0.05
X_5	0.00202	1	0.00202	4.04	0.10
X_1X_2	0.00203	1	0.00203	4.06	0.10
X_1X_3	0.00040	1	0.00040	< 1	
X_1X_4	0.00010	1	0.00010	< 1	
X_1X_5	0.00090	1	0.00090	1.80	0.25
X_2X_3	0.00063	1	0.00063	1.25	
X_2X_4	0.00003	1	0.00003	< 1	
X_2X_5	0.00063	1	0.00063	1.25	
X_3X_4	0.0025	1	0.0025	5.01	0.10
X_3X_5	0.00090	1	0.00090	1.80	0.25
X_4X_5	0.00040	1	0.00040	< 1	
X_1'	0.00049	1	0.00049	< 1	
X_2'	0.00591	1	0.00591	11.84	0.01
X_3'	0.00017	1	0.00017	< 1	
X_4'	0.00998	1	0.00998	20.01	0.01
X_5'	0.00310	1	0.00310	6.21	0.05
回归平方和	0.1822	20	注 $F_{0.01}(1,9)=10.6$		
剩余平方和	0.0133	15	$F_{0.05}(1,9)=5.12$		
误差平方和	0.0045	9	$F_{0.10}(1,9)=3.36$		
总体平方和	0.1955	35	$F_{0.25}(1,9)=1.51$		

方法分别测定甘薯原淀粉及取代度分别为0.010和0.014的淀粉磷酸单酯的透明度、沉降体积以及冻融析水率,结果列于表4。

表4 不同取代度样品的凝沉特性

Table 4 Retrogradation of native and phosphorylated sweet potato starches

样品	透明度(%)	沉降体积(ml)	冻融析水率(%)
原淀粉	18.0	26.8	58.7
DS0.010	66.4	46.8	32.9
DS0.014	45.8	37.5	10.8

由表4可以看出,与原淀粉相比,甘薯淀粉磷酸单酯的糊透明度明显增加,沉降体积增加,冻融析水率减少,这表明,经过酯化变性后,糊液的凝沉倾向大大减弱。这些性质的改变均与磷酸基团的引入有关。淀粉磷酸单酯在水溶液中会形成带负电荷的磷酸根基团和带正电荷的钠离子,同性电荷相斥,使淀粉分子内部由于同性电荷的磷酸基团的排斥力而发生膨胀,导致了膨胀淀粉颗粒尺寸的增大;同时磷酸基团是亲水的,当将它引入后,它会与链淀粉的脱水葡萄糖羟基形成分子内氢键,从而使链淀粉分子的直线性被打乱,并且也会造成支淀粉分支部分的空间障碍,阻碍了链淀粉分子间氢键的形成^[7]使其不易重新排列和缔合。正是由于磷酸基团介入产生的静电力以及淀粉分子结构的改变使原淀粉凝沉性质得到改善。

2.2.2 氯化钠和蔗糖对甘薯淀粉磷酸单酯凝沉性质的影响

测定取代度为0.014的甘薯淀粉磷酸单酯在不同溶液中的透明度、沉降体积和冻融析水率,结果列于表5。

表5中数据显示,氯化钠溶液会使糊液的沉降体积减小,而在蔗糖溶液中形成的糊液的沉降体积显著增加;经过一个冻融周期后糊液的析水率数据显示,氯化钠的存在使淀粉磷酸单酯的冻融稳定性变差,析水率增大,而样品在蔗糖溶液中的情形恰恰相反,它们的糊液经过了一个冻融周期后仍能保持原来的粘稠糊状,离心后也基本无水分析出。这两组数据均表明,氯化钠的存在使淀粉磷酸单酯的凝沉倾向增强,蔗糖则有助于减弱糊液的凝沉倾向。这是由于在氯化钠溶液中,阳离子电荷的作用限制了淀粉颗粒吸水,从而抑制其膨胀糊化,也使淀粉分子间易于取向排列形成氢键,使其凝沉性增加;而蔗糖分子本身也和淀粉一样是带有羟基的亲水性化合物,两者都能以氢键产生“亲合”作用,抑制淀粉分子间的氢键缔合,使淀粉分子之间不易定向排列形成凝胶束而使水分析出^[7,8],减弱了其凝沉性。

3 结 论

3.1 通过五因素二次正交旋转组合实验,得到酯化剂配比(Z_1)、pH值(Z_2)、酯化反应温度(Z_3)、反应时间

微波提取荷叶黄酮及其清除羟基自由基的研究

蔡为荣

(安徽工程科技学院生化工程系, 安徽 芜湖 241000)

摘 要: 本文研究了水剂、无水乙醇、乙醇水溶液及乙醇水溶液结合微波照射浸提荷叶黄酮及其清除羟基自由基的作用。实验结果表明: 以 60% 乙醇水溶液作提取剂, 固液比 1:30、微波照射 1.5min、浸提 2.5h, 荷叶黄酮浸出最多; 且荷叶黄酮提取物对 $\cdot\text{OH}$ 自由基有较明显的清除作用, 其清除率与黄酮的浓度有一定的量效关系。

关键词: 荷叶; 黄酮; 提取; 微波; 羟基自由基

Study on the Extraction of Bioflavonoids from Lotus Leaf and It's Hydroxyl Radicals Scavenging Capacity

CAI Wei-rong

(Department of Biochemistry, Anhui College of Science and Technology, Wuhu 241000, China)

Abstract: The extraction technology of the bioflavonoids in lotus leaf and its hydroxyl radicals scavenging capacity were studied. The results showed that the highest extraction rate of bioflavonoids with high scavenging capacity of hydroxyl radicals could be obtained with 60% alcohol immersed at the ratio of one part of dry leaf to thirty parts of solvent with microwave irradiated for 1.5min, extracting time for 2.5h.

收稿日期: 2003-08-12

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金资助项目(2003kj037)

作者简介: 蔡为荣(1963-), 男, 工学士, 副教授。

(Z_4)、催化剂用量(Z_5)对甘薯淀粉磷酸单酯取代度 DS(Y)的影响关系可表示为如下方程:

$$Y = 0.2820 + 0.0688Z_1 + 0.1616Z_2 + 0.0034Z_3 - 0.2101Z_4 + 0.0539Z_5 - 0.0094Z_1Z_2 - 0.0025Z_1Z_5 + 0.0008Z_3Z_4 - 0.0002Z_3Z_5 - 0.0136Z_2^2 + 0.0177Z_4^2 - 0.0016Z_5^2$$

3.2 甘薯淀粉磷酸单酯最佳制备条件为: 酯化剂的配比为 3:1, 浸泡液的 pH 值 5.5 左右, 酯化反应温度 130~140℃, 反应时间 2~3h, 催化剂添加量为淀粉重的 4%~5%。

3.3 对样品糊的凝沉性研究表明, 甘薯淀粉磷酸单酯的糊透明度比原淀粉有显著提高, 酯化反应可以减弱糊的凝沉倾向, 不同取代度的淀粉磷酸酯的冻融稳定性均有所改善; 氯化钠的加入使甘薯淀粉磷酸单酯的糊透明度降低, 凝沉性增强, 而蔗糖的加入则起到了降低凝沉性的作用。

参考文献:

[1] 张力田. 变性淀粉[M]. 华南理工大学出版社, 1999. 197-

200.

- [2] Solarek D B. Modified starches: Properties and uses[M]. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1986. 104-107.
- [3] 上海淀粉技术研究所. GB12092-89 淀粉及其衍生物磷总含量的测定方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1993. 488-490.
- [4] 张友松. 变性淀粉生产与应用手册[M]. 中国轻工业出版社, 1999. 74-91, 500, 558-573, 628-636.
- [5] 姜元荣, 倪巧儿, 等. 淀粉磷酸酯取代度的分析方法[J]. 无锡轻工业大学学报, 1999, 18, (3).
- [6] 何传波. 甘薯淀粉磷酸单酯制备机理及最优参数研究[D]. 合肥工业大学硕士学位论文, 2002.
- [7] S Lim P A Seib. Preparation and pasting properties of wheat and corn starch phosphates[J]. Cereal Chemistry, 1993, 70 (2): 137-144.
- [8] Paul A Seib. Acetylated and hydroxypropylated and distarch phosphates from waxy barley: Paste Properties and Free-Thaw Stability[J]. Cereal Chemistry, 1990, 67(2): 202-208.