

掺假藕粉中木薯淀粉和甘薯淀粉的 鉴别—差示扫描量热法

王绍清¹, 高 峡², 兰巧峰², 林 立¹, 王琳琳¹, 杨艳丽¹, 孙海波¹, 杨佳佳¹, 任海毅¹, 曹 红¹, 曹宝森¹

(1. 国家食品质量监督检验中心, 北京 100094;

2. 北京市理化分析测试中心, 北京 100089)

摘 要: 为了对掺入藕粉中的其他淀粉种类进行鉴别, 本研究通过差示扫描量热仪对藕粉等常见几种淀粉的糊化过程进行考察发现, 藕粉与其他淀粉在糊化吸热峰上有着明显的差别。根据藕粉与木薯淀粉和甘薯淀粉等在糊化吸热峰上的差异, 以糊化吸热峰作为特征指标, 对掺假藕粉中掺入的木薯淀粉和甘薯淀粉进行定性或定量鉴别实验。同理, 此方法也可用于检验与藕粉在糊化吸热峰上有明显差异的用于藕粉掺假的其他淀粉种类, 如马铃薯淀粉, 玉米淀粉等。此方法将弥补前期发表的基于淀粉颗粒超微形貌特征的可食用淀粉种类扫描电镜鉴别方法的不足。

关键词: 藕粉, 木薯淀粉, 甘薯淀粉, 差示扫描量热仪, 藕粉掺假鉴别

Detection of cassava and sweet potato starch in adulterated lotus root starch by differential scanning calorimetry

WANG Shao-qing¹, GAO Xia², LAN Qiao-feng², LIN Li¹, WANG Lin-lin¹, YANG Yan-li¹,
SUN Hai-bo¹, YANG Jia-jia¹, REN Hai-yi¹, CAO Hong¹, CAO Bao-sen¹

(1. China National Food Quality and Safety Supervision and Inspection Center, Beijing 100094, China;

2. Beijing Center for Physical and Chemical Analysis, Beijing 100089, China)

Abstract: To detect other starch adulterated in lotus root starch product, gelatinization process of lotus root starch and other 7 kinds of common edible starch were analyzed through differential scanning calorimetry (DSC). According to the difference of gelatinization endothermal peak among lotus roots, cassava and sweet potato starch, a DSC method was developed to detect the added cassava and sweet potato starch in false lotus root starch product qualitatively and quantitatively based on the presence and the height of gelatinization endothermal peak of cassava or sweet potato starch. Additionally, this method was also valid in the detection of other starch adulterated in lotus root starch product, such as potato and corn starch etc., of which the endothermal peaks of gelatinization were different from that of lotus root starch. This method is a supplement for the SEM method, which had been developed to differentiate various edible starches in our previous research.

Key words: lotus root starch; cassava starch; sweet potato starch; Differential Scanning Calorimetry (DSC); starch adulteration detection

中图分类号: TS207

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)13-0325-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.13.059

我国是世界上主要的莲藕原产地之一^[1], 以莲藕为原料的藕粉产品深受国内外消费者喜爱和食品研究者的关注^[2-6]。然而由于利益追求, 有不法生产者在藕粉产品中掺加玉米、小麦、马铃薯或者甘薯和木薯等其他廉价可食用淀粉种类。这些掺假行为, 多数可以通过前期开发的扫描电镜法^[7-9], 根据不同淀粉颗粒的超微形貌特征进行鉴别。但扫描电镜法无法对掺假藕粉中的木薯淀粉或甘薯淀粉进行鉴别, 因为藕粉中除长棒形的典型藕粉颗粒外, 还有一些

小的不成熟的类似于球体碎块、半球体或大半个球体的小型藕粉颗粒, 这些颗粒与木薯淀粉和甘薯淀粉颗粒在超微形貌上极其相似(图1)。国家标准 GB/T25733-2010《藕粉》将长棒形大型藕粉颗粒定义为典型藕粉颗粒, 并且根据样品中长棒形典型藕粉颗粒比例, 将藕粉分为不同等级, 如纯藕粉、速溶藕粉或调制藕粉等。通过国家标准《藕粉》中使用的检测手段光学显微镜和偏光显微镜, 只能鉴别出类似于典型藕粉颗粒的淀粉颗粒却无法确定这些长棒

收稿日期: 2014-08-25

作者简介: 王绍清(1972-), 男, 博士, 副高, 研究方向: 食品掺假鉴别与食品分析。

基金项目: 国家质检总局公益性行业科研住“双打”研究专项项目(2012104002-2)。

形颗粒是真的典型藕粉颗粒,还是马铃薯或芭蕉芋等其他大型淀粉颗粒,因为通过这两种光学显微手段看到的只是淀粉颗粒的二维平面照片。至于剩余那些小型近似圆形的颗粒,更是无从鉴别其来源于何种淀粉。通过扫描电镜观察^[7-9],很容易发现典型藕粉颗粒、马铃薯淀粉与芭蕉芋淀粉颗粒等大型颗粒在超微形貌上的差别,从而对其进行鉴别区分,但对于超微形貌极其相似的非典型藕粉小颗粒、木薯淀粉和甘薯淀粉颗粒三者,扫描电镜法也无法对其进行鉴别区分(图1)。以上两点是现行国家标准GB/T25733-2010《藕粉》的重要缺陷。这将导致按照国标《藕粉》对市售藕粉样品进行检验,得出错误的判定结论。虽然我们前期开发的扫描电镜法^[7-9]很大程度上弥补了国家标准《藕粉》在真假鉴别检测方法上的空白,但如前所述,仍无法对除典型藕粉颗粒外,剩下的小颗粒是否为真的非典型藕粉小颗粒做出正确判定,因为其无法从超微形貌上鉴别区分非典型藕粉小颗粒、甘薯淀粉和木薯淀粉颗粒三者。因此亟需开发一种检测方法,完善我们前期开发的可食用淀粉种类鉴别方法-扫描电镜法的此项不足。

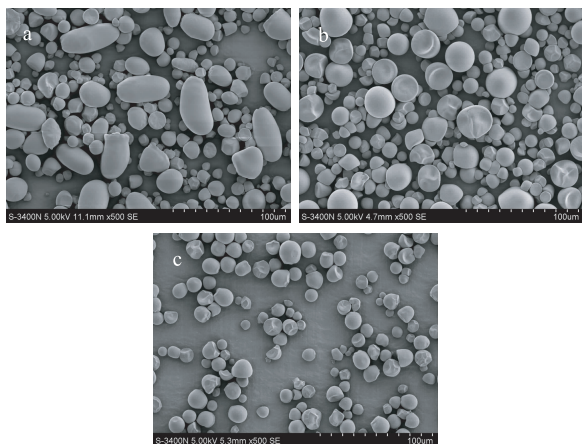


图1 3种淀粉颗粒扫描电镜图

Fig.1 Scanning electronic microscope picture of 3 kinds of starch

注:a:藕粉,b:甘薯淀粉,c:木薯淀粉。

淀粉颗粒中含有部分结晶结构和部分非结晶结构,在与水充分混合后吸水膨胀,当被加热到一定温度时,维系淀粉颗粒结晶结构的氢键被打断,结晶结构开始被破坏,逐步向非结晶结构转化,直至完全消失,此过程为糊化过程^[10]。通常糊化过程中吸热峰谷底的温度被定为糊化温度。相比X射线衍射仪和偏光显微镜等技术手段,差示扫描量热仪(Differential Scanning Calorimetry 简称DSC)是研究淀粉糊化过程最有效的手段。差示扫描量热法^[11]可以跟踪并记录1~5mg淀粉样品在程序升温过程中,因为发生结晶结构变化而产生的与参比之间热流的微小实时差别,并记录下整个升温过程的热流曲线。根据热流变化曲线,可以得出与淀粉糊化过程直接相关的热量变化信息等糊化特性参数,如糊化过程中的三个温度点:起始温度 T_0 ,峰值温度 T_p 和结束温度 T_c 及糊化热等。糊化特性是淀粉的一个典型

特性,不同种类淀粉,在分子结晶结构上有着各种各样的差别,这些差别都会导致其糊化量热曲线上的显著差异^[10,12]。

本研究通过差示扫描量热仪,对常见的几种可食用淀粉种类的糊化过程进行扫描量热分析比较,发现藕粉、甘薯淀粉和木薯淀粉三者之间在糊化量热曲线上的显著差异,并依此对使用甘薯淀粉或木薯淀粉进行掺假的藕粉进行模拟鉴别实验。此方法的开发将弥补我们前期开发的食用淀粉种类鉴别方法-扫描电镜法的不足,完善相关藕粉质量检测的国家标准方法,为打击市场上藕粉掺假行为提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

所用藕粉、甘薯淀粉和木薯淀粉 本实验室自行提取;所用原料均购于北京农贸市场;实验中所用化学试剂均为分析纯 均购自北京化工试剂公司。

1.2 仪器与设备

S3400N型扫描电子显微镜 日本日立高新技术有限公司;E-1045型离子溅射仪 日本日立高新技术有限公司;DSC Q2000 差示扫描量热仪 美国TA;GZX-9140 MBE 鼓风干燥箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.3 实验方法

1.3.1 淀粉提取 所有研究用淀粉的提取方法同前期研究^[7-9]。称取50g原料,经去离子水洗涤干净后,于100mL 1g/100mL的亚硫酸氢钠溶液中浸泡过夜。样品粉碎后,浆液过100目标标准筛,筛下的淀粉悬浊液经4000r/min离心20min,分离得淀粉沉淀。所得淀粉沉淀用超纯水反复洗涤、离心3次后,分散于0.2g/100mL的氢氧化钠溶液中放置3~5h。在同样离心条件下分离出淀粉,并用去离子水反复清洗、离心3遍,最后所得沉淀再分散于去离子水中,静置沉降,倒掉上清液后,除去上面有颜色部分,将剩余的淀粉置于烘箱中,40℃下烘干过夜。

1.3.2 扫描电镜观察 藕粉及其他淀粉样品的扫描电镜观察方法同前期研究^[7-9]。称取5mg淀粉样品于1mL 50%乙醇溶液中,超声匀化成淀粉悬浊液。将洁净的铝箔片粘附在样品台上,将上述淀粉悬浊液滴于洁净铝箔片上,在红外灯下烘干液体后,置于E-1045型离子溅射仪的样品舱中,在15mA的电流下喷金90s。样品取出后,装入S-3400N扫描电镜观察室,进行观察。

1.3.3 差示扫描量热仪量热分析 通过差示扫描量热仪Q2000(美国TA公司)测定所有淀粉样品的量热性质。样品测试前,采用钢和空铝皿进行仪器量热校正。样品制备时,称取3.3mg干基淀粉样品于铝制坩埚中,加10 μ L超纯水后压盖密封后,置于室温下平衡约2h后进行测定。扫描温度范围为20~100℃,升温速率为10℃/min。糊化吸热峰的起始温度 T_0 ,峰值温度 T_p 和结束温度 T_c 及糊化热都是通过随机软件计算得出。

2 结果与分析

2.1 藕粉等8种常见可食用淀粉的糊化过程量热分析

首先通过 DSC 对藕粉等 8 种常见可食用淀粉的糊化过程进行测定,结果如图 2 所示,详细参数总结见表 1。为证明糊化前各种淀粉已经与充足的水分进行混合。根据文献,本研究还对淀粉乳化后剩余的自由水分进行 DSC 考察。结果证明所有考察的乳化淀粉都含有大量剩余的自由水分,这说明实验中所添加的水分已经满足所用淀粉的乳化需求。虽然从表 1 中发现,各种淀粉的糊化热差别很小,但各种淀粉的糊化峰值温度或高或低,糊化吸热峰或对称或偏后,各不相同(图 2)。其中藕粉的糊化吸热峰窄而深,峰值温度在 59.43℃,糊化温度范围为 56.12~63.12℃。木薯淀粉的糊化吸热峰形状与藕粉的相似,但峰值温度在 63.62℃,糊化温度范围为 60.32~68.67℃,与藕粉吸热峰差异明显。甘薯淀粉的吸热峰与藕粉和木薯淀粉的都不相同,随着温度升高,先缓慢吸热,逐渐趋向峰底,在峰的后半部,吸热量迅速减少,趋于平衡,其峰值温度在 76.54℃,糊化温度范围为 57.65~80.68℃。本研究测得的以上三种淀粉糊化温度与部分文献报道值有些差异,这可能与分析手段、实验条件和原料品种有关^[13-19],但这也证明了糊化温度的特异性和其与淀粉种类的相关性。因此当两种不同的淀粉通过物理混合,如向藕粉中掺入木薯淀粉或甘薯淀粉时,由于结晶结构的不同,DSC 测得的扫描量热曲线上,会出现与不同种类淀粉含量相对应的峰值温度各不相同的两个糊化吸热峰。它们或为依次排列的双驼峰,或为一侧带有鼓包的变宽的糊化吸热峰。

在图 2 和表 1 中分别给出了绿豆、玉米、大米、马铃薯和小麦淀粉的糊化过程的扫描量热曲线和相应的量热参数。与上同理,根据它们糊化曲线之间的差异,通过 DSC 也可以对其纯度或掺和情况进行鉴别,但在我们的前期研究^[7-9]中,发现这些淀粉颗粒的超微形貌特征与藕粉颗粒差异明显,通过扫描电镜对其进行鉴别,结果更加准确和直观。因此本研究主要对与非典型藕粉小颗粒具有相似超微形貌特征的木薯淀粉和甘薯淀粉通过 DSC 法鉴别的可行性进行研究。

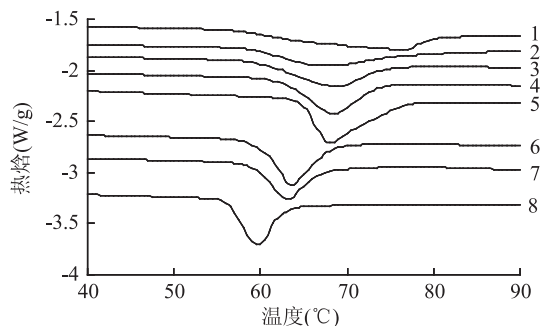


图 2 8 种常见可食用淀粉糊化过程的量热变化
Fig.2 Calorimetry result for 8 kinds of edible starch
注:1:甘薯,2:绿豆,3:玉米,4:大米,
5:马铃薯,6:木薯,7:小麦,8:藕粉。

表 1 8 种常见可食用淀粉的糊化吸热峰的参数总结

Table 1 Parameters of endotherm peak of gelatinization process for 8 kinds of edible starch

淀粉种类	T ₀ (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	J(g)
大米淀粉	63.11	68.39	73.64	13.59
甘薯淀粉	57.65	76.54	80.68	13.66
绿豆淀粉	59.98	66.88	75.17	13.28
马铃薯淀粉	64.47	67.83	76.39	18.02
木薯淀粉	60.32	63.62	68.67	13.86
小麦淀粉	59.37	62.97	67.35	11.41
玉米淀粉	60.55	68.44	74.27	12.49
藕粉	56.12	59.43	63.12	12.59

2.2 掺假藕粉样品中的木薯淀粉的鉴别-差示扫描量热法(DSC法)

为了对 DSC 法鉴别藕粉中掺入的木薯淀粉的可行性进行验证,实验室自行配制掺入不同比例木薯淀粉的掺假藕粉样品,通过 DSC 逐一测定这些样品在程序升温过程中的扫描量热曲线。图 3(a)和(b)中分别通过并列和重叠的方式给出所有样品扫描量热曲线。随着藕粉中木薯淀粉含量的增加,藕粉糊化吸热峰(59.63℃)的右侧翼(63.62℃)处逐渐隆起、长大,使得样品的扫描量热曲线从开始时纯藕粉的单峰逐渐过度为双驼峰,并最终随着样品中藕粉含量的逐渐减少,藕粉糊化吸热峰逐渐降低并消失,只剩下木薯淀粉的糊化吸热峰。为了更清楚地展示上述变化过程,在图 3(b)中通过数据处理将图 3(a)中的各条量热曲线重叠表示。随藕粉样品中木薯淀粉含量的增加,藕粉糊化吸热峰逐渐消失的同时木薯淀粉糊化吸热峰逐步长大,二者此消彼长,呈现一种近似线性的函数关系。将各样品在 63.62℃ 处的扫描量热曲线深度对相应各样品中的木薯淀粉含量作函数,得一回归直线方程, R² 达到 0.9625。根据此方程可以近似计算掺假藕粉样品中的木薯淀粉含量。

2.3 掺假藕粉样品中甘薯淀粉的鉴别-差示扫描量热法(DSC法)

与上述藕粉中木薯淀粉的鉴别实验相同,实验室自行配制含有不同比例甘薯淀粉的掺假藕粉样品,并逐一测定它们的糊化吸热曲线,结果在图 4(a)中并列给出。在图 4(a)中,随着甘薯淀粉含量的增加,纯藕粉糊化吸热峰逐渐减小,直至消失。虽然甘薯淀粉的糊化温度在 76.54℃,与藕粉的糊化温度(59.63℃)相距较远,但甘薯淀粉的糊化吸热峰宽而浅,所以在掺假比例很低时,在图 4(a)中难以看出样品扫描量热曲线的变化趋势。经数据处理,在图 4(b)重叠给出上述系列样品的扫描量热曲线,由此可清晰看出随掺假藕粉样品中甘薯淀粉含量的增加,与藕粉糊化吸热峰(59.63℃)减小的同时甘薯淀粉糊化吸热峰(76.54℃)逐渐长大,二者此消彼长,呈现与前述藕粉中木薯淀粉鉴别实验类似的变化过程。与上同理,将各样品在 76.54℃ 处的扫描量热曲线深度对相应各样品中的甘薯淀粉含量作函数,得一回归

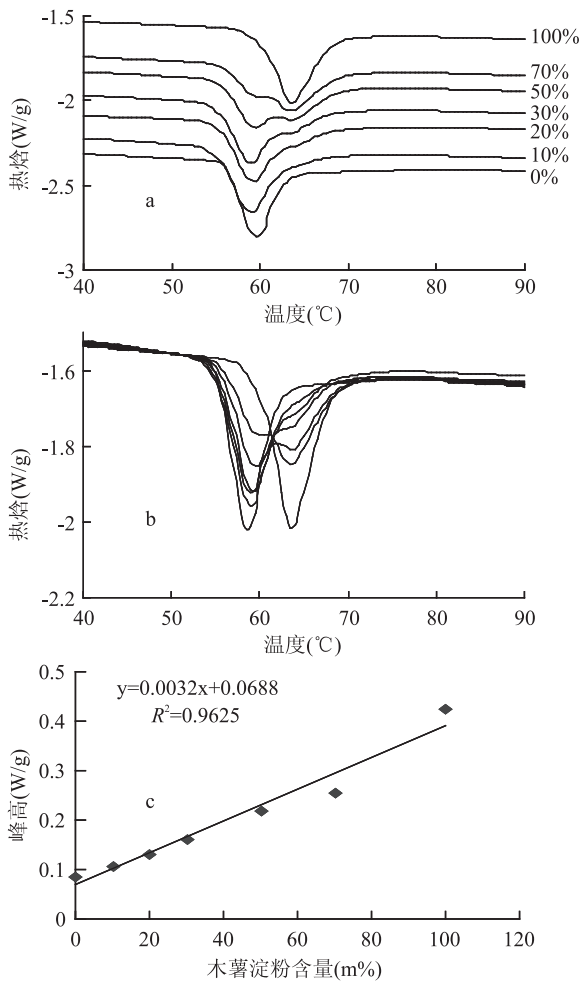


图3 掺入不同比例木薯淀粉的掺假藕粉样品的糊化量热曲线和线性回归方程

Fig.3 Calorimetry scanning curves of gelatinization process and equation of linear regression for artificial samples of lotus root starch adulterated with various amount of cassava starch

注:a:图中的比例为掺假样品中的木薯淀粉含量(m%)。

直线方程, R^2 值达到 0.9807。根据此方程, 可以近似计算藕粉样品中的甘薯淀粉含量。

3 结论

综上所述, 本研究运用差示扫描量热仪对多种可食用淀粉的糊化过程的吸热曲线进行测定后, 发现藕粉与木薯淀粉和甘薯淀粉在糊化量热曲线上的差异, 并将此差异作为特征指标, 对掺有不同含量木薯淀粉或甘薯淀粉的藕粉样品, 通过 DSC 法进行鉴别实验。结果证明 DSC 法能够对掺假藕粉样品中掺入的木薯淀粉和甘薯淀粉进行定性和定量鉴别。这一方法的开发, 将弥补本实验室前期研究的可食用淀粉的扫描电镜鉴别方法的不足, 为国内藕粉市场的质量监管提供技术支持。

参考文献

- [1] 王振莲, 赵琦, 李承森, 等. 古莲的研究现状[J]. 北京师范大学学报, 2005, 26(2): 55-58.
- [2] 陈咏梅, 高益生. 藕淀粉特性的研究[J]. 盐城工业学院学报, 1999, 12(3): 67-71.

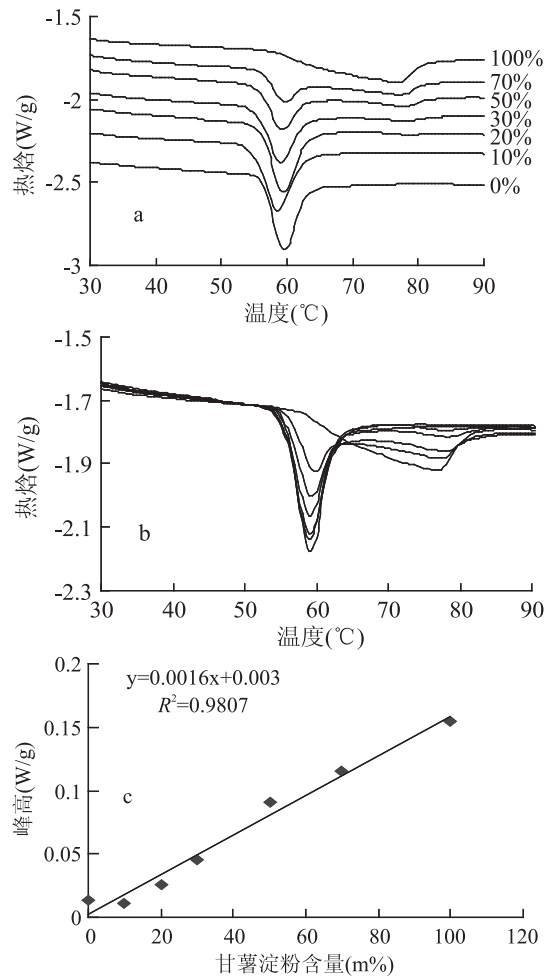


图4 掺入不同比例甘薯淀粉的掺假藕粉样品的糊化量热曲线和线性回归方程

Fig.4 Calorimetry scanning curves of gelatinization process for artificial samples of lotus root starch adulterated with various amount of sweet potato starch

注:a:图中的比例为掺假样品中的甘薯淀粉含量(m%)。

[3] 闵燕萍, 陈宗道, 钟耕, 等. 藕淀粉的加工性能研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 259-263.

[4] 秦志荣, 许荣年, 汪庆旗, 等. 藕淀粉颗粒性质的研究及藕粉产品的鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(1): 136-138.

[5] SUZUKI A, KANEYAMA M, SHIBANUMA K, et al. Characterization of lotus starch[J]. Cereal Chemistry, 1992, 69: 309-315.

[6] 李良俊, 张晓冬, 沈新平, 等. 莲藕淀粉 RVA 谱特征和淀粉粒形态的研究[J]. 园艺学报, 2006, 33(3): 534-538.

[7] 王绍清, 武士奎, 穆同娜, 等. 扫描电镜和稳定碳同位素质谱法鉴别马铃薯淀粉中的掺假玉米淀粉[J]. 食品科学, 2010(31): 332-335.

[8] 王绍清, 王琳琳, 范文浩, 等. 扫描电镜法分析常见可食用淀粉颗粒的超微形貌[J]. 食品科学, 2011, 32(15): 74-75.

[9] 王绍清, 王琳琳, 范文浩, 等. 扫描电子显微镜法原位观察可食用淀粉颗粒的超微形貌[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 61-64.

[10] 赵凯, 等. 食品淀粉的结构、功能及应用[M]. 第4章 淀粉 (下转第 333 页)

免疫抗原筛选,分别制备得到 14 株和 34 株单抗,经三聚氰胺阻断鉴定,BSA-ACS-Mel 抗原免疫所获得的单克隆抗体中有 6 株具有较好的反应特异性,占总数的 42.9%,免疫原性较强。而 BSA-Mel 抗原免疫所获得的单克隆抗体则未能筛选出特异性的三聚氰胺单抗。以两种不同抗原免疫得到的单克隆抗体亚类数量及其用三聚氰胺阻断实验的测定结果如表 3 所示:

表 3 三聚氰胺偶联抗原免疫原性对比

Table 3 Comparison on immunity of melamine conjugates antigens

单抗亚类	特异性单抗/单抗		特异性单抗获得率(%)	
	BSA-ACS-Mel	BSA-Mel	BSA-ACS-Mel	BSA-Mel
IgM	0/4	0/6	0	0
IgG	6/10	0/28	60	0
合计	6/14	0/34	42.9	0

经过动物体内免疫,带连接手臂的抗原得到了 14 株单抗,其中 6 株三聚氰胺单抗具有特异性,而无连接手臂的抗原得到 34 株单抗,但经阻断实验证明均不具有特异性。说明无连接手臂的偶联抗原免疫原性弱,很难获得针对三聚氰胺的特异性单抗。而带连接手臂的三聚氰胺抗原,由于手臂有利于减少抗原抗体识别时的空间位阻作用,能将三聚氰胺分子提呈到整个抗原分子的表面,因而具有较好的免疫原性,更适合做为免疫原。

3 结论

通过改进抗原制备方法得到带手臂的三聚氰胺抗原,免疫动物后获得特异性单克隆抗体,经 ELISA、Western blot 等方法进行免疫原性分析,证明该方法具有转化效率高(转化率 85.9%),偶联抗原的反应原性及免疫原性(特异性单抗获得率 42.9%)均较好等优点,可以用于三聚氰胺的快速免疫检测等方面,并对其它小分子抗原的合成和鉴定提供参考。

(上接第 324 页)

54-65.

[19] Alexander WP, Lauren KW, Rosina MG. Hybridization of mismatched or partially matched DNA at surfaces [J]. J AM CHEM SOC, 2002, 124: 14601-14607.

[20] Nuzzo R G, Fusco F A, Allara D L. Spontaneously organized molecular assemblies (3): preparation and properties of solution

(上接第 328 页)

结构与功能. 书名原文: Starch in Food: Structure, Function and Applications, edited by ELIASSON AC. 赵凯, 等译, 2009, 中国轻工业出版社, 北京.

[11] 顾正彪. DSC 在淀粉研究中的应用 [J]. 无锡轻工大学学报, 1996, 15(2): 179-182.

[12] (日) 二国二郎. 淀粉科学手册 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1989.

[13] 项丽霞, 田翠华, 李洁, 等. 莲藕淀粉糊化温度的测定 [J]. 食品工业科技, 2006, 27(2): 63-64.

[14] 闵燕萍, 陈宗道, 耕耕, 等. 藕淀粉的加工性能研究 [J]. 农业工程学报, 2007, 27: 259-263.

参考文献

[1] Neerman MF, Chen HT, Parrish AR, et al. Reduction of drug toxicity using dendrimers based on melamine [J]. Mol Pharm, 2004, 1(5): 390-393.

[2] 冯楠, 路勇, 吴颖, 等. 超高效液相色谱串联质谱法 (UPLC-MS/MS) 测定多种食品中三聚氰胺的残留量 [J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(2): 248-250.

[3] GC-MS Screen for the presence of melamine and cyanuric acid [S]. FDA-ORA Forensic chemistry center SOP T015.

[4] Updated FCC developmental melamine quantitation (HPLC-V) [S]. FDA-ORA Forensic chemistry center SOP T015.

[5] 沈昊宇, 赵永纲, 王乐屏, 等. 三聚氰胺及其相关物质的性质、危害与检测技术 [J]. 化学通报, 2009(4): 341-349.

[6] 孔君, 刘菁, 韩跃武, 等. 单克隆抗体制备技术的最新进展及应用前景 [J]. 免疫学杂志, 2011, 27(2): 170-173.

[7] 夏骏, 赖卫华, 涂继平, 等. 三聚氰胺胶体金免疫层析方法的建立 [J]. 食品科学, 2013, 34(20): 139-143.

[8] 饶钦雄, 童敬, 王金芳, 等. 饲料和食品中三聚氰胺的毒性及残留检测方法的研究进展 [J]. 饲料工业, 2009, 30(11): 34-36.

[9] Lei HT, Shen YD, Song LJ, et al. Hapten synthesis and antibody production for the development of a melamine immunoassay [J]. Analytica Chimica Acta, 2010, 665: 84-90.

[10] 宋建武, 晁志, 董为人. 石杉碱甲人工抗原的合成、鉴定及免疫原性分析 [J]. 第三军医大学学报, 2009, 31(21): 2128-2130.

[11] 陈继明, 龚晓明, 陆承平. T 细胞表位研究进展 [J]. 中华微生物学与免疫学杂志, 1998, 18(1): 78-82.

[12] 沈关心, 周汝麟. 现代免疫学实验技术 [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1998: 7-8.

[13] 任立松, 王颖, 党荣理, 等. 苏丹红单克隆抗体的制备与鉴定 [J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(2): 201-203.

adsorbed monolayers of organic disulfides on gold surfaces [J]. J Am Chem Soc, 1987, 109(8): 2358-2361.

[21] Peng Zuo, XiuJun Li, Delfina C, et al. A PDMS/paper/glass hybrid microfluidic biochip integrated with aptamer-functionalized graphene oxide nano-biosensors for one-step multiplexed pathogen detection [J]. Lab Chip, 2013, 13: 3921-3928.

[15] 秦志荣, 许荣年, 汪庆旗, 等. 藕淀粉颗粒性质的研究及藕粉产品的鉴定 [J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(1): 136-138.

[16] 高群玉, 吴磊, 刘 kun. 甘薯淀粉糊性质的研究 [J]. 食品工业科技, 2008, 29(8): 153-155.

[17] 谭洪卓, 谭斌, 刘明, 等. 甘薯淀粉性质与其粉丝品质的关系 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 286-292.

[18] COLLADO LS, MABESA RG, CORKE H. Genetic variation in the physical properties of sweet potato starch [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47: 4195-4201.

[19] DEFLOOR I, DEHING I, DELCOUR JA. Physicochemical properties of cassava starch [J]. Starch/Stärke, 1999, 50: 58-64.