

制糖工业右旋糖酐检测方法研究进展*

Research Progress of Dextran Detection Method in Sugar Industry

梁达奉^{1,2,*}, 柳颖², 常国炜², 马步¹, 张九花², 林荣珍¹

LIANG Dafeng^{1,2}, LIU Ying², CHANG Guowei², MA Bu¹, ZHANG Jiuhua², LIN Rongzhen¹

(1. 广西农垦糖业集团股份有限公司, 广西糖业研发中心, 广西南宁 530002; 2. 广东省生物工程研究所(广州甘蔗糖业研究所), 广东省甘蔗改良与生物炼制重点实验室, 广东广州 510316)

(1. Guangxi Sugarcane Industry R&D Center, Guangxi State Farms Sugar Industrial Group Company Limited, Nanning, Guangxi, 530002, China; 2. Guangdong Key Lab of Sugarcane Improvement & Biorefinery, Guangdong Provincial Bioengineering Institute (Guangzhou Sugarcane Industry Research Institute), Guangzhou, Guangdong, 510316, China)

摘要:制糖工艺过程出现的右旋糖酐(Dextran)是由细菌感染(蔗糖转化)形成,它的存在意味着糖分损失,糖液粘度增大,对制(炼)糖生产造成危害,降低糖分回收和产品质量。本文综述了制糖工业中右旋糖酐的检测方法,以及国内外学者对不同方法的比较研究,并对该研究领域进行展望。样品中右旋糖酐的分子量大小及分布是影响测定结果的重要因素。制糖物料或产品中的右旋糖酐分子量大小以及分布对制糖过程的影响、不同检测方法对不同分子量右旋糖酐的响应等问题将成为今后的研究方向。

关键词:右旋糖酐 检测 制糖工业 分子量

中图分类号:TS244 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2017)03-0225-06

Abstract:Dextran appeared in the process of sugar production is formed by bacterial infection (sucrose conversion). The presence of dextran in sugar juice means severe sugar loss, increased viscosity of the sugar flow, harmful impact of sugar production and sugar refinery, reduced sugar recovery, and declined quality of sugar. This paper reviewed the methods of dextran detection in sugar industry, and the comparative studies of different methods at home and abroad, prospected the future picture of this field. The molecular weight and its range of dextran in samples were important factors for the results. The molecular weight and its distribution of process materials and products, effects of dextran with different molecular weight on sugar production, and the response of different methods to different molecular weight, would be the research direction in the future.

Key words: dextran, detection, sugar industry, molecular weight

收稿日期:2017-06-07

作者简介:梁达奉(1964—),男,博士,教授级高级工程师,八桂学者,主要从事制糖生物技术研究,E-mail:ldfjt@126.com。

* 八桂学者建设工程专项经费项目资助。

** 通信作者。

0 引言

右旋糖酐(Dextran)是最早发现的微生物多糖,也是世界上第一个工业化生产的微生物多糖。制糖过程中出现的右旋糖酐,在业内又称为葡聚糖或 α -

葡聚糖,是一种完全由 α -D-吡喃葡萄糖单体构成的多糖高分子聚合物,可由某些细菌如明串珠菌 (*Leuconosto mesenteroides*) 发酵蔗糖产生,分子量一般由数万至数百万,从可溶性小分子到不可溶的高分子,呈胶粘状,粘度随分子量和浓度的增加而增加^[1]。

影响右旋糖酐形成的因素主要包括糖料品种、田间环境、收获方式、收获后放置时间以及加工过程卫生条件等^[2]。正常生长的甘蔗或甜菜收获前不含右旋糖酐,但当因刀伤、火烧、霜冻等因素受创后,会受到明串珠菌等微生物感染而形成右旋糖酐。此外,制糖生产过程的糖汁也会受感染而形成右旋糖酐。从蔗汁到精制产品,制糖工艺过程自始至终受到右旋糖酐的不良影响,在糖厂死角或曲筛等位置容易形成饭粒一样的交联物,俗称“蔗饭”。因此,右旋糖酐问题是制糖工业重要且急需解决的难题。

1 右旋糖酐对制糖工业的危害

1.1 右旋糖酐给制糖生产和产品质量带来诸多不良影响

(1) 糖分损失

在糖汁中右旋糖酐存在就意味着糖料或制糖生产过程中糖分的损失。在甘蔗或甜菜中右旋糖酐含量越高,糖分损失越大,其新鲜度越差,质量越差。

(2) 虚假旋光度和锤度

由于糖汁中右旋糖酐的存在,造成蔗糖含量和锤度分析误差(偏高),进而引起一系列工艺参数的错误,影响生产。

(3) 糖液粘度增大

右旋糖酐的存在可增大糖液的粘度,对高浓度糖液的影响更大。糖汁粘度增大,影响过滤和传热,使蒸发、煮糖时间延长、助晶分蜜困难、废蜜的提净率降低,最终使煮炼回收降低。这种影响不但存在于甘蔗、甜菜糖厂中,也存在于炼糖厂中。

(4) 晶体变形

右旋糖酐阻碍蔗糖晶体的生长,煮糖时容易生成伪晶并增加分蜜困难。当糖液中右旋糖酐的含量达到 0.04%~0.06% 时,会使蔗糖结晶时晶体拉长,甚至形成针状晶体,从而影响糖的质量。原糖中的右旋糖酐大部分(约 80%)存在于晶体内部,蜜洗也难将其除去。

(5) 糖产品适用性受限

糖产品中含有右旋糖酐会影响其作为食品原料的加工性状,造成饮料絮凝,也会影响糖果(巧克力)的成型和包装。蔗汁及甜菜汁中右旋糖酐的存在意

味着糖分转化损失,粘度增大,澄清、过滤、蒸发、煮糖(结晶)、分蜜受影响,回收降低,成本增加,产品质量下降,影响产品的适用性。

1.2 右旋糖酐快速检测和高效清除技术是制糖业的技术难题

制糖工业中右旋糖酐的测定一般可用酒精 Haze/ICUMSA 法、罗伯特-铜法和酶解法等,但这些方法都有较大的局限性,如准确度不高、操作繁琐、不适用所有糖品等缺点^[3]。其中测定右旋糖酐的两个主流方法,酒精 Haze 法和罗伯特-铜法,或者基于这两种原理的衍生方法,都属于化学测定法。这两种测试方法都利用右旋糖酐在乙醇溶液中沉淀的特性。这些定量测定方法在长期以来的应用中存在重复性差、特异性不高、价格昂贵和操作繁琐费时的缺点。而高效液相色谱法(HPLC)则存在仪器设备要求高、测试时间长、样本处理难的问题。因此,如何建立快速、准确的检测方法是一个行业难题。

2 右旋糖酐的传统检测方法

2.1 酒精 Haze 法

酒精 Haze 法是最早被广泛用于测定右旋糖酐的方法,其原理是用淀粉酶和三氯乙酸除去样品中的淀粉和蛋白质,用 50%(V/V)浓度的变性无水酒精将样品中的右旋糖酐沉淀,通过测定吸光值计算其含量,用右旋糖酐 T110 或者 T500 作为标准品。1959 年,Nicholson 和 Horsley 首次报道利用这个原理测定右旋糖酐,原糖中右旋糖酐检测的酒精 Haze 法在第 17 届 International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis(ICUMSA)会议被列为试行方法^[4]。1984 年,周重吉和 Wnukowski^[5]改进了酒精 Haze 法,以浊度作为结果,避免了做标准曲线时所涉及的右旋糖酐相对分子质量问题,其单位是千分之一吸光度(MAU),被原糖交易制定的 Amstar 契约法采用。随后,又提出 Haze 酶解法^[6],将酒精法和酶解法结合起来,先于原蔗汁中加酒精生成沉淀后测定其吸光值,并在另一相同样品中加入右旋糖酐酶酶解后再加酒精生产沉淀后测定其吸光值,上述两个吸光值差就是该蔗汁的右旋糖酐所形成的 Haze 吸光值,最后根据吸光值查标准曲线计算其含量。我国原糖国标(GB 15108—2006)测定方法也是根据酒精 Haze 法修订的^[7]。2015 年,ICUMSA 把改良的酒精 Haze 法确定为正式的右旋糖酐检测方法^[8]。该方法虽然操作简便,但只能用于测定固体糖,不能用于测定液体样品。另外,该方法无法检测低分子量的右旋糖酐(<40 kDa),受其他多糖的干扰大。

2.2 罗伯特-铜法^[9]

罗伯特-铜法,又称为 AOAC 法。其原理是先加入三氯乙酸除去蛋白质,用 80% 的无水酒精将糖液中所有的多糖沉淀出来,用碱式硫酸铜选择性沉淀,分离出右旋糖酐,再用硫酸水解,水解液与苯酚显色,测定吸光值计算出右旋糖酐的含量。该方法可用于分析糖品(原糖、精炼糖)和制品(蔗汁、糖浆、糖蜜)中的右旋糖酐,是一种分析右旋糖酐总量的方法,干扰因素少^[10],但该方法操作繁杂、耗时长,在比色时存在其它颜色的干扰。Boil 等^[11]的研究表明,用罗伯特-铜法测定右旋糖酐含量,其测量值要比酒精 Haze 法的结果高出 30%~40%,原因是该方法的测定结果与分子量大小无关,而酒精 Haze 法对低分子量右旋糖酐的测定结果偏低。Roberts^[12]用 T-40 做加标回收的数据显示,罗伯特-铜法的测量结果为 96%~103%,而酒精 Haze 法只有 49%~73%。因该方法步骤繁琐(测定一个样品需要 2 h),难以成为常规的糖厂化验室分析方法。

2.3 Amstar 契约法^[13]

该方法从改进的酒精 Haze 法演变而来,用于原糖贸易,采用纯酒精以增加浊度沉淀程度的重现性。该方法需要大量的离子交换树脂、微孔过滤器,在使用酒精沉淀之后,用滤纸和助滤剂过滤,前处理复杂,所需时间长。

2.4 MAU 法^[14]

和酒精 Haze 法类似,该方法的特色是增加了离子交换除灰的步骤,结果是千分之一吸光度单位 MAU,百万分之一吸光度单位可以通过 $\text{ppm} = (\text{MAU} + 118) / 0.659$ 计算。避免了标准曲线所涉及的右旋糖酐相对分子质量问题。这种方法用右旋糖酐 T-40 作标准曲线,线性效果不是很好,也许是因为吸光度和右旋糖酐的含量不成线性关系。

2.5 粘度法

Greenfield 等^[15]研究了用相对粘度检测蔗汁中的右旋糖酐。其原理是利用毛细管粘度计提高灵敏度,通过流体粘度与毛细管的流体压力降之间的关系和流体粘度与右旋糖酐浓度之间的关系,设置自动联机检测蔗汁中右旋糖酐的位置函数。该方法快捷,只需要毛细管粘度计,但由于不同分子量的右旋糖酐粘度不同,不可直接估计右旋糖酐的浓度,所以很少采用。

3 近年右旋糖酐检测方法的研究和发展方向

3.1 酶-HPEAC 联用法

在国外,美国的 Brown 等^[16]曾提出用超滤作用

把大分子多糖从糖中提取出来,通过右旋糖酐酶将多糖中的右旋糖酐水解,再利用高效液相色谱(HPLC)分离并测定其含量。Noakes 等^[17]提出测定右旋糖酐酶水解前后的粘度差,再根据标准右旋糖酐粘度曲线来推算右旋糖酐含量。英国 OPTICAL ACTIVITY 公司、伦敦 We Stminster 大学和牙买加糖业研究所合作开发了一种近红外旋光测定仪^[18],用于测定右旋糖酐酶解前后旋光度的变化,计算右旋糖酐的含量,称为 DASA 法,但这种方法由于酶解或过滤不充分造成偏差较大。在国内,徐建光等^[19]在酶解法定量检测右旋糖酐方面也做了研究,利用右旋糖酐酶将右旋糖酐水解成还原糖,用 DNS 法检测还原糖,换算出右旋糖酐的含量。该方法虽具高效专一性、污染小、操作简单、酶解产物分布稳定等优点,但也存在耗时长、右旋糖酐酶不能完全分解右旋糖酐等缺点。从成本角度,该类方法涉及的试剂(右旋糖酐酶)和设备(HPLC、近红外旋光仪)都较贵,不适合糖厂日常分析使用。

3.2 免疫分析法

澳大利亚的 Curtin^[20]曾尝试使用免疫分析法对右旋糖酐进行分析,该方法根据抗体与抗原发生反应生成络合物,然后通过适当的方法测定络合物,计算右旋糖酐的含量。当抗原与抗体在特殊稀释系统中反应而且比例合适(一般规定抗体过量)时,形成的可溶性免疫复合物在稀释系统中的促聚剂(聚乙二醇等)的作用下,自液相析出,形成微粒,使反应液出现浊度。当抗体浓度固定时,形成的免疫复合物的量随着检样中抗原量的增加而增加,反应液的浊度也随之增加。通过测定反应液的浊度与一系列标准品对照,即可计算出检样中抗原的含量。和酒精 Haze 法比较,免疫分析法具有操作简单、灵敏度高、针对性强以及不需要特殊的仪器和设备的优点,特别适合测定甘蔗中的右旋糖酐,曾经有部分国外的糖厂使用米兰公司生产的免疫比浊试剂盒进行检测^[21]。目前米兰公司已被收购,该项业务已停止开展,市面上再无可售的右旋糖酐免疫比浊试剂盒。

为解决制糖过程中右旋糖酐快速测定的难题,近年来广西绿色制糖八桂学者团队与广州甘蔗糖业研究所及厦门大学合作,创新载体偶联技术和免疫方案,解决右旋糖酐免疫原性弱的关键技术问题,研制出右旋糖酐特异性单克隆抗体,并建立了右旋糖酐单克隆抗体免疫分析法及竞争性 ELISA 法^[22-25],组装成了试剂盒。近几年来,该试剂盒在广西、广东、云南等数十家糖厂推广应用^[26],反响良好,标志着利用快速的免疫学方法在我国制糖工业中测定右旋糖酐成

为现实。这种方法检测时间短(3~5 min)、便捷、专一,而且适用于所有糖厂产品,检测时只需要简单的过滤作为预处理,可快速定量检测制糖原料、中间物料和产品中的右旋糖酐含量,为糖料新鲜度的监控和制糖过程右旋糖酐的清除工艺提供定量指标和依据。该试剂盒与右旋糖酐酶^[27]联用,能有效监控、清除制糖物料中的右旋糖酐,消除右旋糖酐对制糖生产和产品质量的影响,提高清净效果、过滤效率及加热与蒸发过程的传热效率,增强煮糖物料循环流动性,改善分蜜效果,降低废蜜重力纯度,提高煮炼收回;使用右旋糖酐酶后,白砂糖中右旋糖酐含量降至无法检出,质量和适用性显著提高^[28]。

4 右旋糖酐检测方法的比较

Holness 等^[21]采用 DASA 法与米兰公司的免疫分析法测定火烧甘蔗中的右旋糖酐含量,结果表明,免疫分析法无法用于测定火烧甘蔗(其结果全部为未检出),DASA 法与免疫分析法的结果之间缺乏相关性。

Saska 等^[29]将酒精 Haze 法和 ASI 法、GPC 法以及一种多克隆和单克隆抗体测试方法进行了比较。由于右旋糖酐高分度的分支,需用酶的 ASI 法被怀疑测定的右旋糖酐浓度低于实际浓度;GPC 法对分

表 1 右旋糖酐检测方法比较

Table 1 Comparison of dextran detection methods

方法 Method	专一性 Specificity	前处理 Pretreatment	范围 Range	耗时 Time-consuming	操作 Operation	精密度 Precision	可用性 Usability
ICUMSA 酒精 Haze 法 Alcohol Haze method	弱 Weak	需要 Need	只能测固体糖 Solid sugar	0.5 h	简单 Simple	高 High	强 Strong
罗伯特-铜法 Robert copper method	弱 Weak	需要 Need	固液相均可 Solid and liquid	1~2 h	繁琐 Fussy	低 Low	强 Strong
GPC 法 Gel Permeation Chromatography	弱 Weak	需要 Need	固液相均可 Solid and liquid	1~2 h	简单 Simple	高 High	强 Strong
免疫分析法 Immunoturbidimetry	强 Strong	不需要 Don't need	固液相均可 Solid and liquid	5~10 min	简单 Simple	高 High	待普及 To be popularized

5 展望

右旋糖酐的实时监测是甘蔗制糖生产控制的一个重要技术,但其含量却是甘蔗制糖生产中难以监控的盲点。我国是蔗糖生产和消费大国,甘蔗作为主要的糖料作物,其品质好坏直接影响甘蔗产业的发展。砍后甘蔗的耐贮藏性是影响甘蔗品质的重要因素之一,而右旋糖酐的形成与甘蔗生长田间因素有关,是甘蔗不耐贮藏的表现,其存在严重影响到甘蔗的质量及制糖生产。因此,在甘蔗日常检测中,可运用特异性右旋糖酐单抗试剂盒检测右旋糖酐含量,通过右旋

糖酐评价原料甘蔗的新鲜度,实现对甘蔗质量的实时监控。初压汁右旋糖酐含量较高时,可使用右旋糖酐酶分解清除,使生产更顺畅,可提高生产效率和产品质量,降低生产成本。

然而,制糖工业中存在的右旋糖酐是由结构相近的大分子多糖组成的混合物,并非单一化合物,这为其含量的准确测定造成了巨大的挑战。不管是 ICUMSA 认定的正式测定方法——酒精 Haze 法,还是目前备受糖厂欢迎的免疫分析法,其测定结果均受右旋糖酐分子量的影响,表现为低分子量右旋糖酐的响应值低,高分子量右旋糖酐响应值高,这是由于不

类有困难并且不是对所有分子量的右旋糖酐敏感;免疫分析法无法检测分子量小于 150 kDa 的右旋糖酐。美国米兰公司的 Rauh 等比较了酒精 Haze 法、GPC 法和免疫分析法,结果显示酒精 Haze 法在测定分子量小于 150 kDa 的右旋糖酐时不灵敏,3 种方法之间没有很好的相关性。其进一步分析称,酒精 Haze 法与罗伯特-铜法都不能专一性针对右旋糖酐,而右旋糖酐抗体具有专一性,反应不受右旋糖酐分子大小的限制,但浊度的形成受分子大小的影响^[30]。免疫分析法被证明对分子量为 T40 的右旋糖酐敏感性较弱,当分子量低于 40 kDa 时浊度不能被检测到^[31]。

南非的 RAVNO 等^[32]及 Pgmorrel^[11]均认为,酒精 Haze 法使用 50% 的酒精进行沉淀,其结果只反映样品中大分子量右旋糖酐的含量,是反映右旋糖酐危害的有效指标。罗伯特-铜法虽然能检出所有分子量的右旋糖酐,但是其结果的意义不如酒精 Haze 所反映的大。该方法在美国以及 SAST 协会也有多年的使用经验,但是其结果与酒精 Haze 法的相关性不太好。酶-HPEAC 联用法与酒精 Haze 法、免疫分析法的结果相关性良好,与罗伯特-铜法相关性差。

各种右旋糖酐检测方法的比较见表 1。

糖酐评价原料甘蔗的新鲜度,实现对甘蔗质量的实时监控。初压汁右旋糖酐含量较高时,可使用右旋糖酐酶分解清除,使生产更顺畅,可提高生产效率和产品质量,降低生产成本。

然而,制糖工业中存在的右旋糖酐是由结构相近的大分子多糖组成的混合物,并非单一化合物,这为其含量的准确测定造成了巨大的挑战。不管是 ICUMSA 认定的正式测定方法——酒精 Haze 法,还是目前备受糖厂欢迎的免疫分析法,其测定结果均受右旋糖酐分子量的影响,表现为低分子量右旋糖酐的响应值低,高分子量右旋糖酐响应值高,这是由于不

同分子量右旋糖酐的物理尺寸不同,析出的沉淀/混合物所产生的浊度不同导致的。相关方法的进一步完善有以下4个方向:1)研究糖厂在制品、成品中右旋糖酐分子量的分布情况;2)研究不同分子量右旋糖酐对制糖生产工艺、煮炼回收、产品絮凝结块的影响;3)研究测定方法对不同分子量右旋糖酐响应值的规律,不同分子量同时存在时的测定结果;4)思考新的右旋糖酐含量表示方法及定义。

参考文献:

[1] 常国炜,梁达奉,张九花,等. 发酵耦合酶解高效制备右旋糖酐工艺研究[J]. 广西科学, 2014, 21(6): 619-623, 633.
CHANG G W, LIANG D F, ZHANG J H, et al. Study on efficient preparation for dextran by fermentation coupled with enzymatic hydrolysis [J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(6): 619-623, 633.

[2] 梁达奉,曾练强,郭亭,等. 葡聚糖对制糖工业的影响及对策(上)[J]. 甘蔗糖业, 2008(3): 28-33.
LIANG D F, ZENG L Q, GUO T, et al. Influence of dextran to sugar industry and their counter-measures [J]. Sugarcane and Cane sugar, 2008(3): 28-33.

[3] 梁达奉,曾练强,郭亭,等. 葡聚糖对制糖工业的影响及对策(下)[J]. 甘蔗糖业, 2008(4): 23-27.
LIANG D F, ZENG L Q, GUO T, et al. Influence of dextran to sugar industry and their counter-measures [J]. Sugarcane and Cane sugar, 2008(4): 23-27.

[4] ICUMSA. International commission for uniform methods of sugar analysis [R]. GS1-15, Colney, England: ICUMSA, 1994.

[5] 陈其斌,周重吉. 甘蔗制糖手册[M]. 高大维,译. 广州: 华南理工大学出版社, 1993: 97, 253, 708-711, 713-715.
CHEN Q B, ZHOU C J. Cane sugar handbook [M]. GAO D W, trans. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993: 97, 253, 708-711, 713-715.

[6] SINGLETON V, HORN J, BUCKE C, et al. A new polarimetric method for the analysis of dextran and sucrose [J]. International Sugar Journal, 2001, 103(1230): 251-254.

[7] 梁达奉,郭剑雄,李锦生,等. 原糖: GB/T 15108—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
LIANG D F, GUO J X, LI J S, et al. Raw sugar: GB/T 15108—2006 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.

[8] ICUMSA. Dextran in sugars by a modified alcohol haze method [R]. ICUMSA Method GS 1/2/9-15 (2015), ICUMSA, 2011.

[9] SIDEBOTHAM R L. Dextrans [J]. Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry, 1974, 30: 371-444.

[10] 方丽莎,谢珍茗,梁达奉,等. 人血清蛋白-葡聚糖偶合抗原的制备与表征[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 187-191.
FANG L S, XIE Z M, LIANG D F, et al. Preparation and characterization of conjugated antigen between human serum albumin and dextrans [J]. Food Science, 2010, 31(11): 187-191.

[11] PGMOREL DU BOIL. An enzymic-HPAEC protocol for the analysis of polysaccharides in sugarcane products-dextran and Sarkaran [J]. Proc S Afr Sug Technol Ass, 2000, 74: 317-327.

[12] ROBERTS E J. A quantitative method for dextran analysis [J]. International Sugar Journal, 1983, 85(1009): 10-13.

[13] Amstar corporation to all seller of raw sugar [Z]. 1981.

[14] RAUH J S, CUDDIHY J A, FALGOUT R N, et al. Dextran test method provides versatility for sugar factory process monitoring [J]. International Sugar Journal, 2003, 105(1251): 100-103.

[15] SARKAR D, DAY D F. Dextran analysis: A modified method [J]. J ASSCT, 1986, 6: 102-107.

[16] BROWN C F, INKERMAN P A. Specific method for quantitative measurement of the total dextran content of raw sugar [J]. J Agric Food Chem, 1992, 40(2): 227-233.

[17] NOAKES. ASSCT (Queensland) [Z]. 1981: 67-70.

[18] SINGLETON V, HORN J, BUCKE C, et al. A new polarimetric method for the analysis of dextran and sucrose [J]. Journal American Society of Sugarcane Technologists, 2002, 22: 112-119.

[19] 徐建光. 葡聚糖酶定量测定葡聚糖的研究及其在制糖工业中应用 [D]. 广州: 广东工业大学, 2010.
XU J G. Study on quantitative determination of dextran by dextranase and its application in sugar industry [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2010.

[20] CURTIN J H. Proceedings of the Australian society of sugar cane technologists [Z]. 1988: 229-234.

[21] HOLNESS H, MCDONALD M, WILSON M R. New dextran monitoring methods used in Jamaican sugar factories [C] // 28th West Indies Sugar Technologists Conference. Barbados, 2004.

[22] LIANG D F, YAN J H, ZENG L Q, et al. Generation of anti-dextran monoclonal antibody and development of immunonephelometry for quantitative detection of dextran [J]. International Sugar Journal, 2011, 113(1353): 654-659.

[23] XIE Z M, FANG L S, LIANG D F, et al. Preparation and characteristic of dextran-BSA antibody and estab-

- lishment of it's Elisa immunoassay[J]. International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics, 2014, 3(6):122-128.
- [24] WANG S Y, LI Z, WANG X J, et al. Development of a monoclonal antibody-based competitive Elisa method for quantitative detection of dextran [J]. Journal of Food Quality, 2016, 39(4):408-414.
- [25] 柳颖, 蚁细苗, 林荣珍, 等. 免疫比浊法定量检测葡聚糖的研究[J]. 甘蔗糖业, 2013(5):52-55.
LIU Y, YI X M, LIN R Z, et al. The immunoturbidimetry methods for quantitative detection of dextran[J]. Sugarcane and Canesugar, 2013(5):52-55.
- [26] 蚁细苗, 柳颖, 林荣珍, 等. 免疫比浊法定量测定制糖过程中的葡聚糖[J]. 广西蔗糖, 2013(4):35-40.
YI X M, LIU Y, LIN R Z, et al. Quantitative determination of dextran in sugar refining by turbidimetric immunoassay[J]. Guangxi Sugarcane & Canesugar, 2013(4):35-40.
- [27] 黄曾慰, 梁达奉, 曾练强, 等. 朱黄青霉 α -葡聚糖酶在毕赤酵母中的高效表达[J]. 广西科学, 2014, 21(6):614-618.
HUANG Z W, LIANG D F, ZENG L Q, et al. High expression of dextranase from *Penicillium minioluteum* in *Pichia pastoris* [J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(6):614-618.
- [28] 梁达奉, 马步, 柳颖, 等. α -葡聚糖酶及其在国内制糖工业中的应用研究进展[J]. 广西科学, 2014, 21(6):606-609.
LIANG D F, MA B, LIU Y, et al. Research of α -dextranase and its application in domestic sugar industry[J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(6):606-609.
- [29] SASKA M, OUBRAHIM Y. Gel permeation chromatography of sugarcane products [J]. Sugar Journal, 1987:22-25.
- [30] RAUH J S, CUDDIHY J A, OPELKA M J. Analyzing dextran in the sugar industry: A review of dextran in the factory and a new analytical technique [C]//30th Biennial Meeting. American Society of Sugar Beet Technologists, 1999:30-40.
- [31] DAY D F, CUDDIHY J A, RAUH J S. Versatility of the Antibody dextran test method [C]//Paper presented at 32nd Annual Joint ASSCT Meeting. Amelia Island Plantation, Florida; ASSCT, 2002:26-28.
- [32] RAVNÖA B, PURCHASE B S. Dealing with dextran in the south African sugar industry[J]. Proc S Afr Sug Technol Ass, 2005, 79:28-47.

(责任编辑:陆雁)