

毛细管区带电泳-间接紫外测定食品中木糖醇

李 疆¹, 陈 桐^{1,2,3}, 鞠昭函⁴, 赵 珊¹, 丁晓静^{1,3*}

(1. 北京市疾病预防控制中心, 食物中毒诊断溯源技术北京市重点实验室, 北京 100013; 2. 首都医科大学附属北京安贞医院, 北京 100029; 3. 首都医科大学公共卫生学院, 北京 100069; 4. 北京联合大学应用文理学院, 北京 100083)

摘要: **目的** 建立毛细管区带电泳间接紫外测定食品中木糖醇的新方法。**方法** 样品用超纯水提取后离心, 过 0.45 μm 膜后上机进样。以未涂敷熔融石英毛细管(50 $\mu\text{m}\times 60.2\text{ cm}$)为毛细管分离柱, 以 8 mmol/L 3, 5-二硝基苯甲酸、10 mmol/L 硼砂和 0.5 mmol/L 十六烷基三甲基溴化铵为分离缓冲溶液。分离电压为-20 kV, 检测波长为 200 nm, 用外标法定量。**结果** 方法检出限为 3.00 mg/L($S/N=3$), 定量限为 10.00 mg/L ($S/N=9$), 线性范围为 10.00~300.0 mg/L, 线性相关系数 r 为 0.9994。在 20.00、40.00、80.00 mg/L 添加水平下, 平均回收率分别为 103.2%、103.3%及 104.8%, 相对标准偏差分别为 0.5%、1.2%及 0.7%($n=3$)。**结论** 该方法简单快速, 11 min 内即可完成一次样品分析(清洗 6 min、分离 5 min), 试剂及样品消耗量少, 适用于食品中木糖醇的检测。

关键词: 毛细管区带电泳; 间接紫外法; 木糖醇; 3, 5-二硝基苯甲酸

Determination of xylitol by capillary zone electrophoresis with indirect ultraviolet detection in food

LI Jiang¹, CHEN Tong^{1,2,3}, JV Zhao-Han⁴, ZHAO Shan¹, DING Xiao-Jing^{1,3}

(1. Beijing Key Laboratory of Diagnostic and Traceability Technologies for Food Poisoning, Beijing Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100013, China; 2. Beijing Anzhen Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100029, China; 3. Department of Public Health, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 4. College of Arts and Science of Beijing Union University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: Objective To develop a new method for the detection of xylitol in food by capillary zone electrophoresis with indirect ultraviolet. **Methods** Samples were extracted with ultrapure water, centrifuged and injected by 0.45 μm membrane. The separation was carried out using an uncoated fused-silica capillary with 50 μm i.d. and 60.2 cm total length. The separation buffer consisted of 8 mmol/L 3, 5-dinitrobenzoic acid, 10 mmol/L sodium tetraborate and 0.5 mmol/L hexadecyl trimethyl ammonium bromide, separation voltage was -20 kV and the detection wavelength was 200 nm. Quantification was made by external calibration between the corrected peak area and the concentration of xylitol. **Results** The limit of detection and limit of quantitation were 3.00 mg/L ($S/N=3$) and 10.00 mg/L ($S/N=9$), respectively. The linear range between the corrected peak area and the concentration was from 10.00 to 300.0 mg/L with a correlation coefficient of 0.9994. The average spiked recoveries of 3 levels (20.00, 40.00 and 80.00 mg/L) were 103.2, 103.3 and 104.8%

基金项目: 北京市卫生系统高层次卫生技术人才培养项目(2013-2-036)

Fund: Supported by the Beijing Municipal Health Bureau for the Project of Training High-level Medical Technical Personnel in Health System (2013-2-036)

*通讯作者: 丁晓静, 主任技师, 主要研究方向为色谱技术在卫生检验中的应用。E-mail: dxj_wry@yahoo.com

*Corresponding author: DING Xiao-Jing, Professor, Beijing Center for Disease Control and Prevention, No.16, Hepingli Middle Street, Dongcheng District, Beijing 100013, China. E-mail: dxj_wry@yahoo.com

with relative standard deviations of 0.5%, 1.2% and 0.7%, respectively. **Conclusion** The method is simple and fast and the analysis could be completed within 11 min (6 min for rinsing and 5 min for separation), which is suitable for the determination of xylitol in food samples.

KEY WORDS: capillary zone electrophoresis; indirect ultraviolet detection; xylitol; 3, 5-dinitrobenzoic acid

1 引言

木糖醇属于天然糖的一种,其甜度与蔗糖相当^[1],是一种重要的食品添加剂。添加木糖醇的无糖酸奶可促进双歧杆菌增殖、促进营养物质的消化吸收、提高人体免疫力、改善胃肠功能等,同时还有减肥的功效^[2]。研究表明,木糖醇可作为糖尿病人的替代糖源,它进入血液后不需要胰岛素的作用就可以透过细胞膜而被细胞所利用^[3]。目前我国允许木糖醇在食品中适量添加^[4]。

近年来,随着糖尿病患者人数急剧攀升,无糖食品业得到了迅速的发展,但目前我国无糖食品市场上欺骗消费者的状况屡见不鲜,将“无蔗糖”替换为“无糖”,误导消费者,并且在食品标签中也笼统写明使用了“甜味剂”、“复合甜味剂”、“蛋白糖”等^[5],这就给监督管理加大了难度。因此,建立准确测定木糖醇的含量对保证无糖食品的安全至关重要。

目前国标方法中木糖醇的测定方法为气相色谱法(GC)^[6],但该法分离效果差,柱效低,色谱峰不对称,前处理过程烦琐,一般需 12~24 h 预处理,且分析时间较长。改进的国标法采用小口径毛细管柱测定木糖醇^[7],虽然色谱峰形较好,但柱效较低,且预处理过程仍较烦琐。国内外有利用紫外^[8]、蒸发光散射^[9]、示差折光^[10]、电雾式^[11]检测器的高效液相色谱^[12-15]和脉冲安培^[16]、质谱检测器^[17,18]的离子色谱(IC)测定木糖醇的方法,这些方法尽管较 GC 法更加快速而准确,然而 HPLC 法需使用大量有机试剂,造成较高的分析成本^[10,14-17]; IC 法的样品前处理时间仍较长,且分离时间一般在 40 min 左右。毛细管电泳法测定木糖醇具有分离效率高、分析时间短、溶剂消耗少、绿色、环保且检测结果准确可靠的优点,样品前处理简单到仅需除去可能堵塞毛细管的颗粒物,非常有利于对基质复杂的食品样品的分析。本文采用毛细管区带电泳-间接紫外法,测定了食品中的木糖醇,获得了满意结果。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

P/ACE MDQ 型毛细管电泳仪配紫外检测器(美国 Beckman 公司); Millipore Milli-Elix/RiOs 型超纯水器(美国 Millipore 公司); Universal 32 高速离心机(德国 Hettich 公司); 旋涡混合器(法国 Gilson 公司); A11B S25 型均质仪(德国 IKA 公司); F-50A 型酸度计(北京北研兴电力仪表有限责任公司)。

3, 5-二硝基苯甲酸(国药集团化学试剂有限公司,分析纯); 硼砂(中国医药公司北京采购供应站,优级纯); NaOH(优级纯,北京化学试剂公司); 十六烷基三甲基溴化铵(CTAB, Sigma-Aldrich 公司,纯度 99%); 木糖醇标准品(Chemservice 公司,纯度 99%); 三氯蔗糖标准品(USP 参考标准); 糖精钠(阿拉丁试剂,纯度 98%); 柠檬酸标准品(Sigma-Aldrich 公司,纯度 99%); 安赛蜜(阿拉丁试剂,纯度 99%); 阿斯巴甜(阿拉丁试剂,纯度 98%); 苯甲酸钠(国药集团化学试剂有限公司,分析纯); 广泛 pH 试纸; 内径 50 μm 未涂层熔融石英毛细管(河北永年锐沣色谱配件有限公司); 食品样品购于当地超市,临床肠内营养制剂由海立生公司提供。

木糖醇标准储备液:称取 100 mg 木糖醇标准品置于 15 mL 塑料离心管中,加入超纯水 10 mL 溶解、摇匀,配成质量浓度为 10 mg/mL 木糖醇标准储备液,于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存。

2.2 电泳条件

石英毛细管:50 μm \times 60.2 cm (有效长度:50 cm),分离缓冲液:8 mmol/L 3, 5-二硝基苯甲酸,10 mmol/L 硼砂,0.5 mmol/L CTAB; 分离电压:-20 kV; 检测波长:200 nm; 样品室温度:4 $^{\circ}\text{C}$; 进样压力及时间:0.5 psi、20 s; 工作电流:约 10.3 μA 。

2.3 实验方法

2.3.1 毛细管的预处理

新的石英毛细管分别用 1 mol/L NaOH 洗 20

min、水洗 5 min 及分离缓冲液洗 5 min。每次进样前, 分别用 1 mol/L NaOH、超纯水及分离缓冲溶液清洗 2 min, 以保证迁移时间及校正峰面积的重现性。

2.3.2 样品前处理

液体样品处理: 肠内营养制剂混悬液用移液器移取 1 mL(同时称取其质量, 约 0.1g 左右), 置于 15 mL 塑料离心管中, 加入 1 mL 50 mmol/L 乙酸, 用水稀释定容至 10 mL, 摇匀后过 0.45 μm 滤膜, 滤液收集于 1.5 mL 塑料离心管中备用。

半固体样品处理: 酸奶、八宝粥等, 称取 0.1 g 左右样品, 酸奶需用 50 mmol/L 乙酸沉淀蛋白, 八宝粥用超纯水定容至 10 mL 即可。

固体样品处理: 口香糖先用均质仪粉碎或剪刀剪碎, 然后称取 0.1 g 于 15 mL 塑料离心管中, 加 10 mL 超纯水, 超声提取 15 min, 9000 r/min 离心 10 min。将上清液取出, 过 0.45 μm 滤膜, 滤液经稀释适当倍数后直接进样。

3 结果与分析

3.1 毛细管内径、长度及进样时间的选择

毛细管内径及长度的选择, 无论从检测灵敏度还是分离度方面考虑, 内径 50 μm 的石英毛细管最为常用, 对于管长的选择: 管长过短会影响木糖醇与系统峰间的分离, 管长过长则会导致分析时间延长。故本实验选用总长为 60.2 cm 的毛细管进行分离, 以 50 μm × 60.2 cm(有效长度: 50 cm) 为最佳。利用 CE Expert 软件计算最佳进样时间为 20 s。进样时间(3、10、20 min)的优化实验表明: 随着进样时间的增加, 灵敏度越来越高, 本研究选用进样时间为 20 s, 与软件估算结果相吻合。

3.2 探针及检测波长的选择

木糖醇属于糖的一种, 无特征紫外吸收, 因此采用间接紫外法进行测定, 其中探针(添加到分离缓冲液中且有紫外吸收的物质)及检测波长的选择是关键。探针的淌度与待测物离子的淌度越匹配越好, 否则待分析离子的峰形不好或灵敏度不高^[19]。糖分析中山梨酸是比较好的探针, 但不是木糖醇分析的较好探针^[20]。根据文献^[21], 本研究使用 3, 5-二硝基苯甲酸为探针。考虑到使用 200 nm 附近的检测波长, 可获得绝大多数物质的高灵敏度检出, 故本研究选用

200 nm 为检测波长。

3.3 探针浓度的选择

为避免基质干扰, 选用含木糖醇的口香糖样品进行实验条件优化。研究了探针浓度在 3~10 mmol/L 范围内变化时对木糖醇测定的影响。探针浓度为 3 mmol/L 时, 虽然木糖醇的灵敏度高, 但与其相邻的负峰未完全分离, 影响其准确定量。随着探针浓度的增加, 木糖醇与负峰的分度逐渐增加, 但与未知峰的分度则逐渐减小, 并且木糖醇的检测灵敏度逐渐下降。当探针浓度为 8 mmol/L 时, 木糖醇可远离负峰, 在避免紧邻的负峰干扰的同时可获得与未知峰的基线分离。探针的最佳浓度为 8 mmol/L, 如图 1 所示。

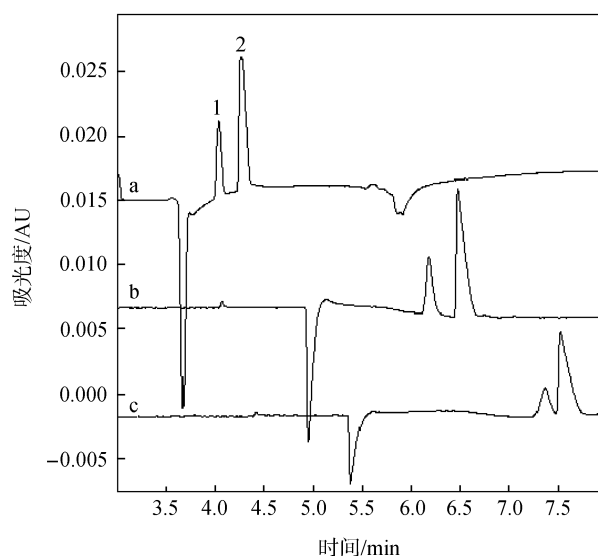


图 1 3, 5-二硝基苯甲酸浓度对木糖醇分离的影响
Fig. 1 Effects of the concentration of 3, 5-dinitrobenzoic acid on the separation of xylitol
1 木糖醇; 2 未知峰
1. xylitol; 2. unknown
3, 5-二硝基苯甲酸浓度(mmol/L): a. 3; b. 8; c. 10
3, 5-dinitrobenzoic acid(mmol/L): a. 3; b. 8; c. 10

3.4 分离缓冲体系及其浓度的选择

水溶性好的木糖醇与糖一样属中性物质, 选用硼酸盐缓冲溶液, 可使之与木糖醇中的邻位羟基络合形成带负电的络合物以进行电泳分离^[22]。利用毛细管电泳-间接紫外法测定糖及其络合物时, 需选用低浓度盐作为缓冲溶液^[23], 分离缓冲溶液具有缓冲能力的最低浓度一般为 10 mmol/L^[24]。本实验考察了

10、12 及 15 mmol/L 硼砂对木糖醇分离的影响, 实验表明, 随着硼砂的浓度增加, 木糖醇的灵敏度逐渐降低, 且分离时间逐渐增长, 最终硼砂的最佳浓度选为 10 mmol/L, 如图 2 所示。

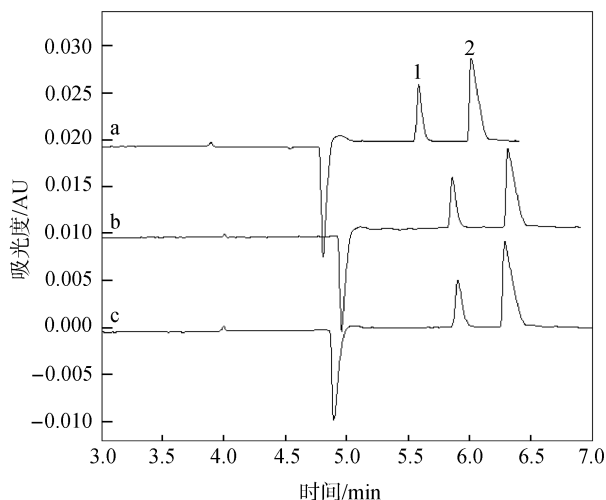


图2 硼砂浓度对木糖醇分离的影响

Fig. 2 Effects of the concentration of sodium borate on the separation of xylitol

1 木糖醇; 2 未知

1 xylitol; 2 unknown

硼砂浓度(mmol/L): a. 10; b. 12; c. 15

Concentration of sodium borate: a. 10 mmol/L b. 12 mmol/L
c. 15 mmol/L.

3.5 电渗流改性剂浓度的选择

木糖醇为中性物质, 与硼酸跟离子络合后形成带负电的络合物而与 EOF 的方向相反, 使该络合物很难在合理的时间(30 min)内被检测到。但使用电渗流改性剂, 可以确保其能快速移动到检测窗口而被检测。CTAB 是分析阴离子常用的 EOF 改性剂, 本实验室以前的研究^[25]表明: 0.5 mmol/L CTAB 足以使 EOF 反向并保持稳定, 故本研究最终选择 0.5 mmol/L CTAB 作为 EOF 改性剂。

3.6 工作曲线、线性范围、检出限和精密度

将木糖醇的储备液用水逐级稀释成 10.00、40.00、80.00、120.0、160.0、200.0、240.0 及 300.0 mg/L 标准工作液, 在上述优化的电泳条件下依次进样分析, 校正峰面积外标法定量。校正峰面积 (A) 与质量浓度 (x , mg/L) 间呈良好线性关系, 线性回归方程 $A=17.14x+25.83$, 相关系数 $r=0.9994$, 线性范围为

10.00~300.0 mg/L, 检出限为 3.00 mg/L ($S/N=3$), 定量限为 10.00 mg/L ($S/N=9$)。

将 10.00、40.00 及 120.0 mg/L 木糖醇标准溶液分别连续进样 7 次, 以考察仪器精密度(RSD)。迁移时间的 RSD 分别为 0.70%、0.50%、1.1%; 校正峰面积的 RSD 分别为 2.0%、0.79% 及 0.71%。按 2.3.2 节中的方法平行处理 7 份酸奶样品进样测定, 以考察方法精密度, 其 RSD 为 3.4%。

3.7 回收率试验

以市售不含木糖醇的样品为空白样品, 按 2.3.2 节样品前处理方法, 分别添加 20.00、40.00 及 80.00 mg/L 这 3 个浓度水平进行加标回收试验, 电泳图见图 3。每个加标水平平行处理 3 份样品进行测定, 结果见表 1。

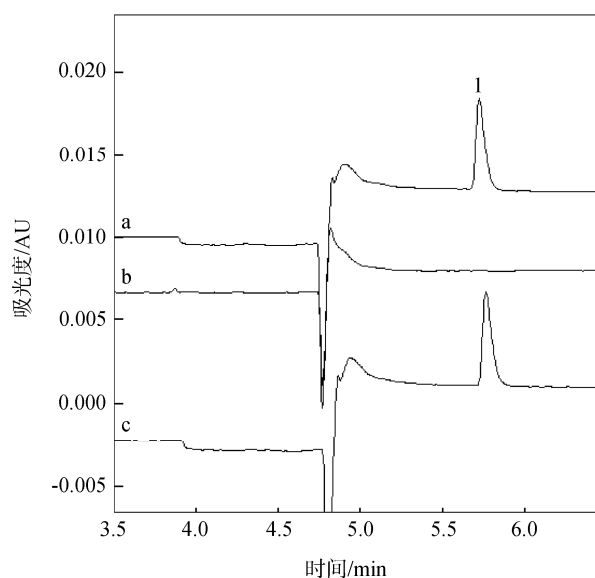


图3 空白样品加标电泳图

Fig. 3 Electropherograms of spiked blank sample
a. 80 mg/L 木糖醇标准; b. 空白样品; c. 空白样品加 80 mg/L 木糖醇标准

a. 80 mg/L xylitol standard; b. blank sample; c. blank sample spiked with 80 mg/L xylitol standard

表1 木糖醇 3 水平加标回收率结果 ($n=3$)

Table 1 The recoveries of xylitol at 3 spiked levels ($n=3$)

添加量/(mg/L)	加标回收率/%	RSD/%
20.00	103.2	0.5
40.00	103.3	1.2
80.00	104.8	0.7

3.8 样品分析

用本法测定食品中含木糖醇的样品。对罐头、临床营养制剂、口香糖、半固体酸奶等 5 大类共计 6 件样品进行分析, 均获满意结果, 结果见表 2, 临床营养制剂、口香糖样品电泳图见图 4。

表 2 食品中木糖醇的测定结果($n=5$)
Table 2 The content of xylitol in foods ($n=5$)

样品	木糖醇的含量/(g/kg)	RSD%
八宝粥	13.36	1.7
口香糖 1	119.0	9.3
口香糖 2	73.80	3.5
营养制剂	30.69	6.2
酸奶 1	11.34	0.15
酸奶 2	3.170	4.8

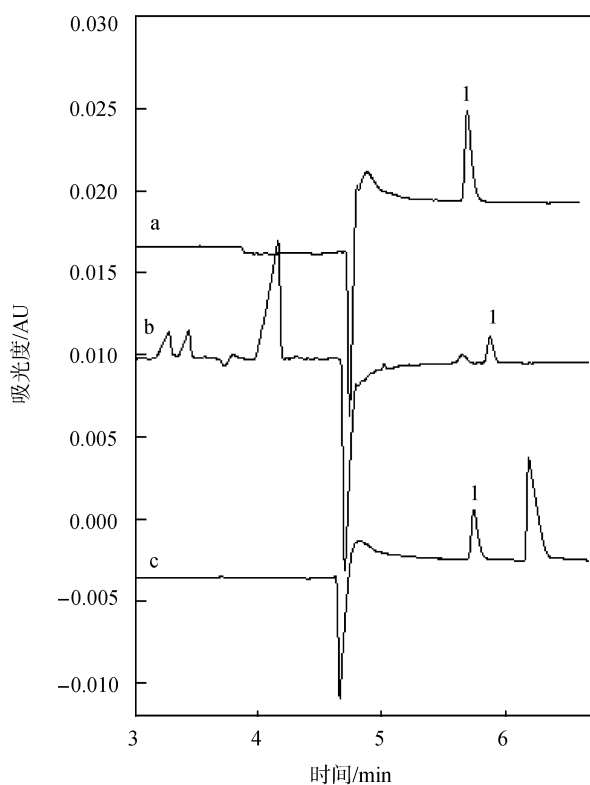


图 4 临床营养制剂、口香糖样品电泳图

Fig. 4 Electrophoregrams of clinical nutrition powder sample and chewing gum sample

1 木糖醇

a. 50 mg/L 木糖醇标准; b. 临床营养制剂样品; c. 口香糖样品
1 xylitol
a. 50 mg/L xylitol standard; b. clinical nutrition powder sample; c. chewing gum sample

3.9 干扰实验

分别将质量浓度均为 1000 mg/L 的食品中常见防腐剂(柠檬酸、苯甲酸钠)及 500 mg/L 甜味剂(糖精钠、阿斯巴甜、安赛蜜、三氯蔗糖)进行干扰实验, 均未见干扰, 充分显示了本方法的高选择性。

4 结 论

本文建立了毛细管区带电泳-间接紫外法测定食品及临床营养制剂中木糖醇含量, 仅采用简单的无机盐分离缓冲体系, 在 11 min 内完成了木糖醇含量的分析。该法样品前处理简便易行, 无需使用有机溶剂, 且与食品中共存的常见防腐剂及甜味剂等互不干扰, 非常有利于对基质复杂的食品样品的分析, 可以为监管食品安全提供技术支持。

参考文献

- [1] 刘婷, 吴道澄. 食品中甜味剂的检测方法[J]. 中国调味品, 2011, 36(3): 1-12.
Liu T, Wu DC. Analytical methodologies for determination of sweeteners in foodstuffs [J]. China Condiment, 2011, 36(3): 1-12.
- [2] 王蕊. 功能性甜味剂木糖醇及在食品加工中的应用[J]. 江苏食品与发酵, 2008, 2: 18-20.
Wang R. Functional sweetener xylitol and application in food processing [J]. Jiangsu Food Ferment, 2: 18-20.
- [3] 陈冠华, 张利平, 田益玲, 等. 毛细管区带电泳法分离发酵液中的木糖和木糖醇[J]. 色谱, 2001, 19(6): 549-551.
Chen GH, Zhang LP, Tian YL, *et al.* Separation of xylose and xylitol in fermentation liquid by capillary zone electrophoresis [J]. Chin J Chromatogr, 2001, 19(6): 549-551.
- [4] GB 2760-2011 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准 [S].
GB 2760-2011 National Food Safety standards -Standards for uses of food additives [S].
- [5] 林慧, 颜春荣, 徐春祥, 等. HPLC-ELSD 法同时测定食品中的 10 种糖和糖醇[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 286-291.
Lin H, Yan CR, Xu CX, *et al.* Simultaneous determination by HPLC-ELSD of ten kinds of sugars and sugar alcohols in food [J]. Food Sci, 2013, 34(12): 286-291.
- [6] 曹元龙, 刘红利, 李永利, 等. 食品中木糖醇含量的气相色谱法测定[J]. 河南预防医学杂志, 2000, 11(5): 260-261.
Cao YL, Liu HL, Li YL, *et al.* Gas chromatography determination xylitol in the food [J]. Henan J Prev Med, 2000, 11(5): 260-261.

- [7] 王成福, 赵光辉, 周娟. 气相色谱毛细管柱对木糖醇产品的测定[J]. 中国食品添加剂, 2005, 3: 104–107.
Wang CF, Zhao GH, Zhou J. Determines xylitol by capillary column GC [J]. Chin Food Addi, 2005, 3: 104–107.
- [8] 刘亚攀, 陈璐莹, 张静, 等. 毛细管电泳-紫外检测法同时测定食品中的葡萄糖和多种糖醇[J]. 分析试验室, 2014, 33(9): 1034–1037.
Liu YP, Chen LY, Zhang J, *et al.* Simultaneous determination of glucose and six sugar alcohols in foods by capillary electrophoresis with ultra-violet detection [J]. Chin J Anal Lab, 2014, 33(9): 1034–1037.
- [9] 于趁, 闫正, 蔡立鹏, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射法测定无糖糕点中糖醇含量[J]. 食品工业科技, 2010, 3: 362–364.
Yu C, Yan Z, Cai LP, *et al.* Determination of content of alditol in sugar-free cakes by high performance liquid chromatography-evaporative light scattering detector (HPLC-ELSD) [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, 3: 362–364.
- [10] 施燕支, 郭雪清, 余启荣, 等. HPLC 示差折光分析法测定口香糖中的木糖醇等多种糖醇的含量[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2005, 26(1): 61–62, 67.
Shi YZ, Guo XQ, Yu QR, *et al.* Determination of many kinds of components in chewing gum by HPLC with refractive index detector [J]. J Capital Normal Univ (Nat Sci Edi), 2005, 26(1): 61–62, 67.
- [11] Grembecka M, Lebidzińska A, Szefer P. Simultaneous separation and determination of erythritol, xylitol, sorbitol, mannitol, maltitol, fructose, glucose, sucrose and maltose in food products by high performance liquid chromatography coupled to charged aerosol detector [J]. Microchem J, 2014, 117(6): 77–82.
- [12] Nojiri S, Taguchi N, Oishi M, *et al.* Determination of sugar alcohols in confectioneries by high-performance liquid chromatography after nitrobenzoylation [J]. J Chromatogr A, 2000, 893: 195–200.
- [13] 李黎, 刘玉峰, 唐华澄, 等. 高效液相色谱法测定食品中的糖醇[J]. 食品科学, 2007, 28(6): 278–280.
Li L, Liu YF, Tang HD, *et al.* Determination of sugar alcohol in foods by HPLC method [J]. Food Sci, 2007, 28(6): 278–280.
- [14] 秦振顺, 王平, 陈桂茹, 等. 高效液相色谱法测定木糖醇[J]. 中国卫生工程学, 2002, 1(4): 227–228.
Qin ZS, Wang P, Chen GR, *et al.* Determination of xylitol by high performance liquid chromatography [J]. Chin J Public Health Eng, 2002, 1(4): 227–228.
- [15] Hanko VP, Jeffrey SR. Determination of carbohydrates, sugar alcohols, and glycols in cell cultures and fermentation broths using high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection [J]. Anal Biochem, 2000, 283: 192–199.
- [16] 柏建国, 宋莉华, 周伟红. 微型毛细管电泳安培检测无糖口香糖中的木糖醇和山梨醇[J]. 分析化学, 2007, 35(11): 1661–1664.
Bai JG, Song LH, Zhou WH. Determination of xylitol and sorbitol in sugar free chewing gums by miniaturized capillary electrophoresis system with amperometric detection [J]. Anal Chem, 2007, 35(11): 1661–1664.
- [17] 周洪斌, 熊治渝, 李平, 等. 离子色谱-质谱联用法检测食品中的糖醇[J]. 色谱, 2013, 31(11): 1093–1101.
Zhou HB, Xiong ZY, Li P, *et al.* Determination of alditols in foods by ion chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2013, 31(11): 1093–1101.
- [18] 曾绍东, 杜海群, 郭宏斌, 等. 超高压液相色谱-质谱法测定水果中添加的3种人工合成甜味剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(1): 239–244.
Zeng SD, Du HQ, Guo HB, *et al.* Determination of three synthetic sweeteners in fruits by ultra pressure liquid chromatography-mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2013, 4(1): 239–244.
- [19] Johns C, Macka M, Haddad PR. Enhancement of detection sensitivity for indirect photometric detection of anions and cations in capillary electrophoresis [J]. Electrophoresis, 2003, 24: 2150–2167.
- [20] 陈义. 毛细管电泳技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
Chen Y. Capillary electrophoresis technology and application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [21] 陈桐, 丁晓静, 李一正, 等. 毛细管区带电泳-间接紫外法快速测定食品中的甜蜜素[J]. 色谱, 2014, 32(6): 666–671.
Chen T, Ding XJ, Li LZ, *et al.* Rapid determination of cyclamate in food by capillary zone electrophoresis with indirect ultraviolet detection [J]. Chin J Chromatogr, 2014, 32(6): 666–671.
- [22] 毛秀丽, 林炳承. 糖类的毛细管电泳及芯片毛细管电泳[J]. 色谱, 2001, 19(4): 309–313.
Mao XL, Lin BC. Capillary electrophoresis and chip capillary electrophoresis of carbohydrate [J]. Chin J Chromatogr, 2001, 19(4): 309–313.
- [23] Mccourt J, Stroka J, Anklam E. Experimental design-based development and single laboratory validation of a capillary zone electrophoresis method for the determination of the artificial

sweetener sucralose in food matrices [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2005, 382(5): 1269–1278.

[24] Macka M, Johns C, Philip DA, *et al*. Indirect photometric detection in CE using buffered electrolytes-part I, principles [J]. *LC GC North Am*, 2001, 19(1): 38–47.

[25] Xie N, Ding X, Wang X, *et al*. Determination of thioglycolic acid in cosmetics by capillary electrophoresis [J]. *J Pharm Biomed*, 2014, (88): 509–512.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



李 疆, 副主任技师, 主要研究方向为食品加工及食品安全分析。

E-mail: lij0993@sohu.com



丁晓静, 主任技师, 主要研究方向为色谱技术在卫生检验中的应用。

E-mail: dxj_wry@yahoo.com