徐佳佳, 刘玉峰, 孔凡华, 等. 离子色谱-脉冲安培法检测食品中功能性低聚异麦芽糖 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 262−267. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050223

XU Jiajia, LIU Yufeng, KONG Fanhua, et al. Determination of Isomaltooligosaccharide in Foods by Ion Chromatography-pulsed Amperometric Detection[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 262−267. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050223

· 分析检测 ·

离子色谱-脉冲安培法检测食品中功能性低聚异麦芽糖

徐佳佳, 刘玉峰*, 孔凡华, 乔子纯, 崔亚娟, 徐锡媛, 郑晓玮, 李　东
（北京市营养源研究所, 北京 100069）

摘　要: 目的：建立一种离子色谱-脉冲安培检测法测定食品中的异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖的方法。方法：样品经水溶解提取，酸沉淀蛋白后，过反相固相萃取柱净化，以赛默飞 CarboPacTM PA20 阴离子交换柱为分析柱，以水（A）、200 mmol/L 氢氧化钠（B）为淋洗液梯度洗脱，离子色谱-脉冲安培检测器定量测定。结果：在 0.8～16.0 mg/L 范围内线性关系良好，相关系数 r 均大于 0.999，异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖精密度 RSD 分别为 3.42%、2.34%、1.11%，回收率在 85.63%~105.22% 之间，相对标准偏差在 2.48%~4.49% 之间。结论：该方法前处理简单，专一性强，结果准确度高，适用于多种食品中的低聚异麦芽糖的测定。

关键词: 异麦芽糖, 异麦芽三糖, 潘糖, 离子色谱法
中图分类号: TS207.3　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2021)13−0262−06
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050223

Determination of Isomaltooligosaccharide in Foods by Ion Chromatography-pulsed Amperometric Detection

XU Jiajia, LIU Yufeng*, KONG Fanhua, QIAO Zichun, CUI Yajuan, XU Xiyuan, ZHENG Xiaowei, LI Dong
(Beijing Institute of Nutrition Resources, Beijing 100069, China)

Abstract: Objective: An ion chromatography - pulsed amperometric detection method was developed for the determination of isomaltose, isomaltotriose, panose in foods. Methods: Samples were extracted by water and the protein in sample was deposited by acid, and purified with the column of guard Ⅱ RP, then those sugars were separated on a CarboPac PA20 high performance anion-exchange column of ThermoFisher. The water(A), 200 mmol/L sodium hydroxide solution (B) were used as mobile phases for gradient elution, and pulsed amperometric detector was used for quantitative determination. Results: The linear relationship was good within the range of 0.8~16.0 mg/L, the correlation coefficient was more than 0.999, the RSD of precision of isomaltose、isomaltotriose and panose were 3.42%, 2.34%, 1.11%, the recovery rate was 85.63%~105.22%, the RSD was 2.48%~4.49%. Conclusion:This method demonstrated to be simple with good accuracy and specifity, which is suitable for the determination of isomaltooligosaccharide in kinds of foods.

Key words: isomaltose; isomaltotriose; panose; ion chromatography

低聚异麦芽糖（Isomaltooligosaccharide, 简称 IMO）以淀粉或淀粉质原料, 经酶法转化、精制、浓缩等工艺制得的一种淀粉糖产品, 分子中至少含有一个葡萄糖分子间以 α-1,6 糖苷键结合的异麦芽糖、潘糖、异麦芽三糖, 以及其他四糖以上的低聚糖的总称, 是近些年发展速度较快的一种功能性低聚糖[1−6]。商品低聚异麦芽糖产品规格主要有两种, IMO-50 型和 IMO-90 型[7]。低聚异麦芽糖属于非消化性低聚糖类, 难以被胃酶消化, 具有水溶性膳食纤维功能, 其热量低, 基本上不增加血糖血脂, 有助于维持肠道菌

收稿日期: 2020−05−20
基金项目: 十三五国家重点研发计划-营养功能性食品制造关键技术研究与新产品创制（2016YFD0400600）。
作者简介: 徐佳佳（1986−）, 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 食品营养与分析, E-mail: xujiajia_1999@126.com。
*** 通信作者:** 刘玉峰（1972−）, 女, 硕士研究生, 副研究员, 研究方向: 食品营养成分的分析检测, E-mail: liuyf_29@163.com。

群平衡, 改善腹泻与便泌, 预防龋齿, 提高机体免疫力[8−10]。鉴于低聚异麦芽糖的特性和保健功能, 其已被日益广泛应用于保健品、食品、医药、化妆品等领域[11]。食品中加入低聚异麦芽糖对促进人体健康具有重要意义, 一定程度上降低肥胖、糖尿病、冠心病等症的发病率。

糖类的检测方法主要有比色法[12]、毛细管电泳法[13]、色谱法[4,14−28]、滴定法[16] 等。其中色谱技术是目前所广泛应用的检测糖的方法。目前, 低聚异麦芽糖的测定方法主要有高效液相色谱法[4,14−17]、气相色谱法[18−19]、离子色谱法[20−28] 等。高效液相色谱法受示差检测器的影响, 灵敏度较低; 气相色谱分离效果好, 灵敏度高, 但样品前处理步骤复杂, 一般需要对目标物进行硅烷化反应, 离子色谱法测定糖具有样品前处理简单, 无需衍生, 且专一性强、灵敏度高的特点, 其用于测定糖类逐渐被关注[29−32]。糖能够在 pH ≥ 12 的碱性环境中解离成阴离子, 在电极上发生氧化还原反应, 用阴离子交换柱进行分离后, 可以用脉冲安培检测器检测[10]。本研究样品经水溶解提取, 酸沉淀蛋白后, 采用离子色谱-脉冲安培检测器测定低聚异麦芽糖, 以期为监管政策的落实和实施提供必要的技术支持和有力保障。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

异麦芽糖对照品(纯度 97.0%)　东京化成工业株式会社; 异麦芽三糖对照品(纯度 97.0%)　东京化成工业株式会社; 潘糖对照品(纯度 99.0%)、50% 氢氧化钠溶液(色谱纯)　Sigma 公司; 磺基水杨酸(优级纯)　天津市光复精细化工研究所; 甲醇(色谱纯)　Fisher 公司; ON GUARD Ⅱ RP 柱(3cc)　美国 ThermoFisher 公司; 0.45 μm 水系滤膜　天津津滕公司; 实验室用水　Aquaplore 2C 超纯水; 实验所需样品　购于北京各大超市。

ICS-3000 离子色谱仪　美国 ThermoFisher 公司, 配脉冲安培检测器金工作电极, Ag/AgCl 参比电极; KQ-500DE 型超声波清洗器　昆山市超声仪器有限公司; ME235s 电子天平　精度 0.1 mg, 德国赛多利斯公司。

1.2　实验方法

1.2.1　溶液配制　9 种糖混合标准储备溶液的配制: 分别准确称取 50 mg(精确至 0.1 mg)的异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖、半乳糖、葡萄糖、果糖、乳糖、蔗糖、麦芽糖对照品到 50 mL 容量瓶中, 用超纯水配制成浓度约为 1000 mg/L 标准储备液, 放置 4 ℃ 密封可保存 1 个月。

9 种糖混合标准工作溶液的配制: 准确吸取 9 种糖混合标准储备液 1.0 mL 于 25 mL 容量瓶中, 用水定容至刻度, 为 9 种糖标准使用溶液。分别准确吸取 9 种糖使用溶液 1、2、3、5、10、20 mL 于 50 mL 容量瓶中, 用水定容。得到标准曲线工作液浓度分别为 0.8、1.6 、2.4、4.0、8.0、16.0 mg/L, 用时现配。

冰醋酸水溶液(0.05 mol/L): 准确吸取 600 μL 冰醋酸于水中, 用水定容至 50 mL, 混匀。

1.2.2　样品处理

1.2.2.1　采样和试样制备　固体样品: 抽取有代表性的样品, 用四分法缩减取 200 g, 粉碎后过筛, 混匀, 装入自封袋中, 备用。

液体样品: 混匀, 备用。

1.2.2.2　提取　称取 0.5~5.0 g(精确至 0.001 g)的制备好的样品于 100 mL 容量瓶中, 加入 80 ℃ 左右的热水 40 mL, 超声提取 15 min, 冷却至室温后, 加入 20 mL3% 磺基水杨酸溶液并用水定容至 100 mL, 充分混匀后, 静置 15 min。溶液经滤纸过滤, 滤液依据标准曲线的线性范围确定稀释倍数, 备用。

1.2.2.3　净化　净化柱 ON GUARD Ⅱ RP 柱的活化按照以下步骤操作: 将 ON GUARD Ⅱ RP 柱使用前依次用 10 mL 甲醇、15 mL 超纯水进行活化, 活化液体流速控制在 3 mL/min, 放平, 静置 20 min 后使用。

取上清液依次通过 0.45 μm 水相滤膜和净化柱, 弃去前面 3 倍柱体积洗脱液, 收集后面的洗脱液待测。

1.2.3　离子色谱条件　赛默飞 CarboPacTM PA20 色谱柱(4.0 mm×150 mm, 10 μm), CarboPacTM PA20 保护柱(4.0 mm×50 mm, 10 μm), 流动相: A 为去离子水、B 为 200 mmol/L 氢氧化钠溶液; 流速: 0.4 mL/min, 进样体积: 10 μL, 柱温: 30 ℃(表 1)。

表 1　梯度洗脱程序

Table 1　The program of gradient elution

时间(min)	A(%)	B(%)
0	85	15
15	85	15
15.1	0	100
30	0	100
30.1	85	15
40	85	15

1.3　数据处理

色谱结果积分处理采用 Thermo Chromenleon 6.8 SR14 色谱工作站, 并利用 Excel 软件进行数据统计及数据分析。

2　结果与讨论

2.1　样品前处理的优化

食品中基质复杂, 不仅会对目标色谱峰产生干扰, 而且容易对色谱柱及检测器造成损坏。因此, 样品前处理过程中使用了净化柱, 目的是去除试样溶液中的色素、少量的大分子物质、脂类等, 以保护分析柱, 常用的净化柱有 ON GUARD A 柱, ON GUARD Na 柱, ON GUARD Ⅱ RP 柱等。A 柱主要用于去除样品溶液中的阴离子污染物并中和强酸; Na 柱主要用于去除样品溶液中的金属离子; RP 柱主要用于去

除样品溶液中的疏水性物质及表面活性剂[33]。考虑到样品中可能存在部分脂溶性物质，本实验选用了 ON GUARD Ⅱ RP 柱，选取果粒饮料、西梅饮料、酵素、谷物棒、配方奶粉作为实验样品，对 ON GUARD Ⅱ RP 柱对目标物的回收率做了考察，异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖的平均回收率分别为 99.31%、99.85%、99.54%，回收率均达 99% 以上，因此实验确定选用该净化柱。

此外，在样品前处理过程中增加除蛋白的步骤以减少对结果的干扰[33]。常见的除蛋白的方法有盐析法[28]、有机试剂沉淀法[28,34]、沉淀剂法[35]、酸沉淀法[36−37] 等。本实验从样品类型、色谱柱、淋洗液等综合因素考虑沉淀剂的选择及适用性。盐析法需加入大量盐类物质，上机前需对样品溶液进行脱盐处理，否则高浓度的盐易对色谱峰的峰形及保留时间造成影响。有机试剂沉淀法操作简单，沉淀蛋白的分辨能力高于盐析法，但考虑到乙腈、乙醇等有机试剂挥发性较强，易对环境造成污染，故排除了有机试剂沉淀法。常用的蛋白沉淀剂有亚铁氰化钾-乙酸锌，沉淀效率高，但考虑到金属离子对离子色谱的不良影响，故不考虑沉淀剂法。综上，本实验采用冰醋酸沉淀法，取 6 份样品，分别加入 0.05 mol/L 的冰醋酸水溶液 1、2、3、4、5、6 mL，考察蛋白质的沉淀情况，结果表明，加入 5 mL0.05 mol/L 的冰醋酸水溶液时，样品中的蛋白质完全沉淀，因此，确定加入 5 mL 0.05 mol/L 的冰醋酸水溶液作为蛋白沉淀剂，沉淀效果较好且对离子色谱分析无影响。

2.2　色谱柱的选择

实验采用阴离子交换柱 CarboPacTM PA1、PA20，比较两种色谱柱对样品中可能存在的半乳糖、葡萄糖、果糖、乳糖、蔗糖、麦芽糖、异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖的分离效果。实验发现，色谱柱 CarboPacTM PA20 树脂基核及覆盖在树脂表面的键合季铵基团的乳胶比比色谱柱 CarboPacTM PA1 小、分离速度适中，在 170 mmol/L 氢氧化钠溶液浓度下，半乳糖、葡萄糖、果糖在色谱柱 CarboPacTM PA20 能够得到较好分离。色谱柱 CarboPacTM PA1 也可以将 9 种糖进行分离，但分离效果较色谱柱 CarboPacTM PA20 差且分析时间长，当样品中乳糖含量高时分离效果不理想，综上，色谱柱 CarboPacTM PA20 相较而言具有更大优势，因此本实验采用色谱柱 CarboPacTM PA20 进行相关测定。其中，色谱柱 CarboPacTM PA20 色谱图和色谱柱 CarboPacTM PA1 色谱图见图 1 和图 2。

2.3　流动相的选择

考察了不同浓度的氢氧化钠溶液作为流动相的色谱分离条件，结果表明，流动相中氢氧化钠溶液浓度的高低直接影响分离效果和分离时间，提高氢氧化

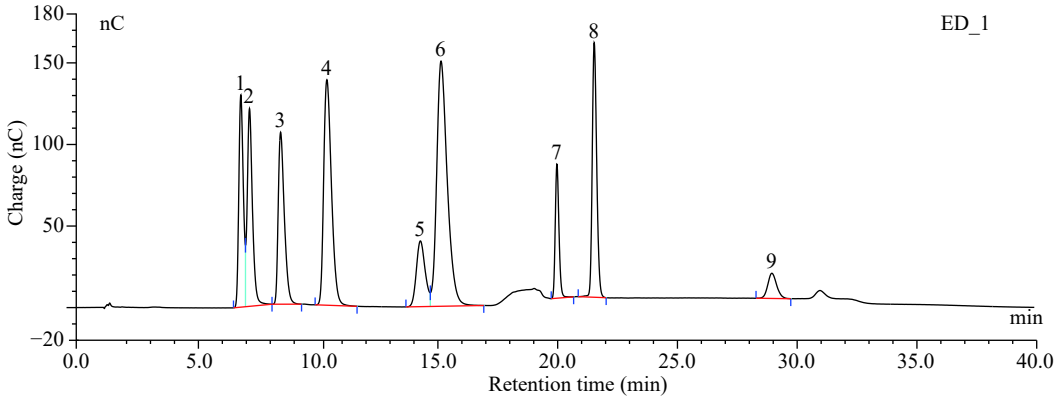

图 1　CarboPacTM PA20 色谱柱色谱图

Fig.1　The chromatogramof CarboPacTM PA20 column

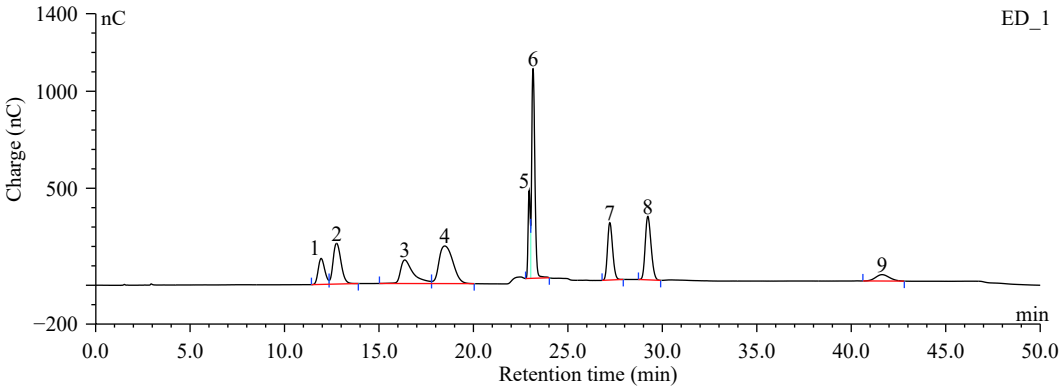

图 2　CarboPacTM PA1 色谱柱色谱图

Fig.2　The chromatogramof CarboPacTM PA1 column

注：1.半乳糖；2.葡萄糖；3.果糖；4.蔗糖；5.异麦芽糖；6.乳糖；7.异麦芽三糖；8.麦芽糖；9.潘糖。

钠溶液的浓度能够缩短出峰时间，但是可能造成分离度下降，降低氢氧化钠溶液浓度可以增加分离度，同时使分离时间延长，难以在较短的时间内使目标物得到较好的分离度，且半乳糖、葡萄糖、果糖、蔗糖、乳糖等洗脱需要的氢氧化钠溶液较异麦芽三糖、潘糖洗脱需要的氢氧化钠溶液低，综合以上因素考虑，采用梯度洗脱的方式，分离度和分离时间结果满意，样品测定效果较好。当样品中乳糖含量较高时，可以通过酶解法酶解乳糖或者调整梯度洗脱程序使异麦芽糖和乳糖实现较好的分离，样品色谱图如图 3 所示，酶解乳糖后产生半乳糖和葡萄糖，样品色谱图如图 4 所示。

2.4　方法线性回归方程

以目标物质量浓度（mg/L）为横坐标，峰面积为纵坐标，绘制标准曲线，得到回归方程和相关系数。结果表明，异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖在 0.8~16.0 mg/L 范围内线性关系良好，各化合物线性回归方程、相关系数见表 2。

2.5　方法的定量限

当进样量为 10 μL 时，将异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖的色谱信号峰与基线信号进行比较，以信噪比约为 10 的浓度进行定量限计算，得异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖的定量限均为 0.01 g/100 g。

2.6　精密度的测定

平行称取 6 份果味饮料，按照前处理方法进行提取并上机测定。结果如表 3 所示，异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖的相对标准偏差（RSD）分别为 3.42%、2.34%、1.11%，均小于 5%，精密度良好。

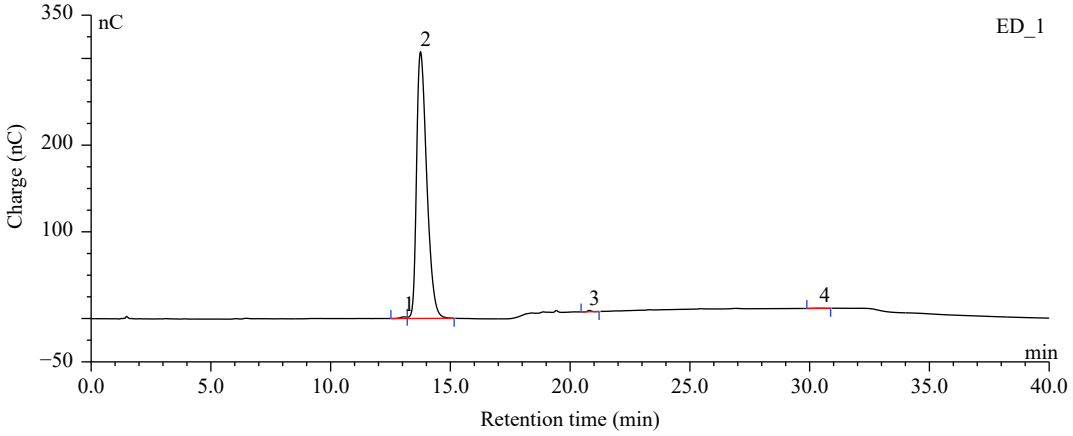

图 3　样品色谱图

Fig.3　The chromatogram of sample

注：1.异麦芽糖；2.乳糖；3.异麦芽三糖；4.潘糖。

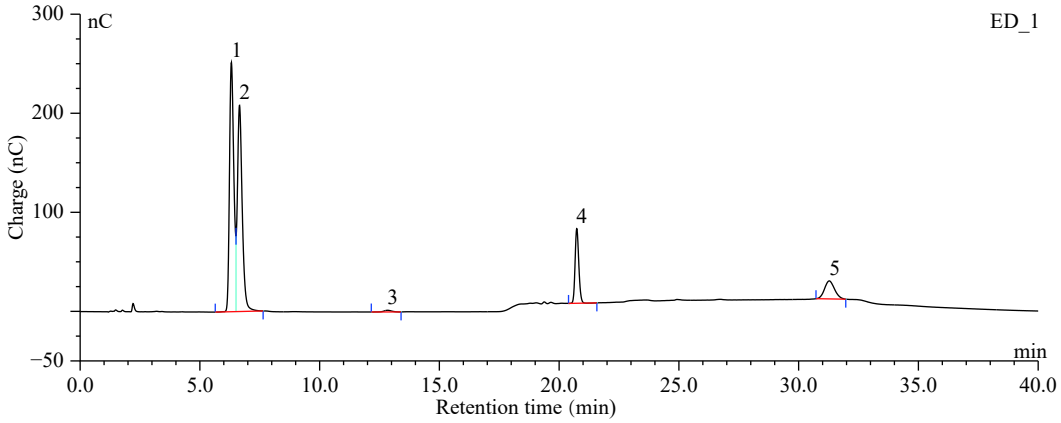

图 4　样品色谱图

Fig.4　The chromatogram of sample

注：1.半乳糖；2.葡萄糖；3.异麦芽糖；4.异麦芽三糖；5.潘糖。

表 2　3 个化合物的回归方程、相关系数

Table 2　Regression equations and correlation coefficients of the three compounds

名称	回归方程	相关系数r
异麦芽糖	y=2.231 x−0.013	0.9999
异麦芽三糖	y=1.609 x+0.103	0.9998
潘糖	y=1.407 x−0.003	0.9991

表 3 精密度实验结果(g/100 g)

Table 3 The results of precision (g/100 g)

化合物	1	2	3	4	5	6	平均值	RSD(%)
异麦芽糖	3.55	3.54	3.39	3.23	3.45	3.41	3.43	3.42
异麦芽三糖	1.81	1.76	1.79	1.82	1.85	1.88	1.82	2.34
潘糖	0.439	0.435	0.437	0.441	0.446	0.432	0.438	1.11

2.7 回收率的测定

平行准确称取 6 份果味饮料，按照样品前处理方法进行提取并上机测定，取六次测定结果的平均值为目标物的本底值；准确称取 9 份 1 g(精确至 0.0001 g)果味饮料分别加入不同量的低聚异麦芽糖，按照样品前处理方法进行提取并上机测定，结果见表 4。结果显示，三种低聚异麦芽糖的回收率在 85.63%~105.22% 之间，相对标准偏差在 2.48%~4.49% 之间，方法回收率良好，准确度较高。

回收率公式如下：$P=(X_1-X_0)/m\times100$

式中，P：加入的标准物质的回收率；m：加入的标准物质的量；X_1：加标试样的测定值；X_0：本底的测定值。

2.8 样品测定结果

本次实验共收集了果味固体饮料(饮料 1)、西梅饮料(饮料 2)、果粒饮料(饮料 3)、乳酸菌饮料(饮料 4)、保健果茶、蜂蜜、酵素、果冻、营养奶昔、功能食盐、苏打饼干、谷物棒、配方奶粉等 13 种不同类型的产品，按照已建立的方法测定样品中 6 种单双糖和三种低聚异麦芽糖的含量，结果见表 5。该方法操作简单，可行性好，专一性强，适合不同类型食品中低聚异麦芽糖的测定。

3 结论

本文用离子色谱-脉冲安培检测方法同时测定食品中半乳糖、葡萄糖、果糖、乳糖、蔗糖、麦芽糖、异麦芽糖、异麦芽三糖、潘糖，并对样品的前处理及色谱柱和流动相的选择进行了考察和优化、确定了梯度洗脱程序，使其可用于多种类型的食品中的九种糖的检测。结果表明，该方法在 0.8~16.0 mg/L 范围内线性关系良好，相关系数 r 均大于 0.999，异麦芽糖、

表 4 回收率实验结果

Table 4 The results of recovery

目标物	本底值(mg/g)	加标量(mg)	加标回收率(%)							RSD(%, n=6)
			1	2	3	4	5	6	均值	
异麦芽糖	34.3	17.2	92.22	93.24	90.22	98.26	85.63	91.23	91.80	4.49
		34.4	101.22	98.94	102.31	95.36	96.35	98.71	98.82	2.72
		51.6	102.23	101.23	94.21	95.66	102.36	105.22	100.15	4.27
异麦芽三糖	18.2	9.4	96.22	97.23	96.43	91.26	100.28	89.64	95.18	4.17
		18.2	100.24	89.36	89.34	91.34	92.38	94.34	92.83	4.41
		27.6	102.35	100.69	98.56	96.33	97.37	96.42	98.62	2.48
潘糖	4.38	2.20	94.33	85.98	89.31	88.93	87.24	91.21	89.50	3.32
		4.40	95.61	93.65	94.62	98.81	98.74	99.37	96.80	2.55
		6.60	94.53	96.83	100.67	101.21	98.83	97.17	98.21	2.57

表 5 不同食品中糖的含量(g/100 g)

Table 5 Sugars concentration detected in different of foods (g/100 g)

样品名称	半乳糖	葡萄糖	果糖	蔗糖	乳糖	异麦芽糖	异麦芽三糖	潘糖	麦芽糖
饮料1	/	1.96	3.46	/	6.39	3.34	1.86	0.309	/
饮料2	/	1.54	1.45	4.23	/	0.181	0.0576	0.164	/
饮料3	/	2.05	1.98	2.35	0.785	0.367	0.0865	0.0563	/
饮料4	0.125	/	/	2.56	1.78	0.0521	0.0174	0.0676	/
保健果茶	/	1.21	1.02	/	/	1.84	0.897	0.229	/
蜂蜜	/	20.5	32.3	/	/	0.628	0.0720	0.104	/
酵素	/	/	/	/	/	0.197	0.237	/	/
果冻	/	1.21	2.03	/	/	3.29	1.59	0.476	/
营养奶昔	/	0.689	0.545	/	7.71	0.246	0.137	0.0428	/
配方奶粉	0.123	/	/	/	45.3	0.211	0.113	0.0190	/
功能食盐	/	/	/	/	/	8.78	3.95	1.09	/
苏打饼干	/	0.123	0.156	/	/	0.0581	0.0656	0.0358	0.235
谷物棒	/	1.72	1.11	/	/	3.08	1.43	0.418	/

注：/代表低于方法检出限。

异麦芽三糖、潘糖精密度 RSD 分别为 3.42%、2.34%、1.11%，回收率在 85.63%~105.22% 之间，相对标准偏差在 2.48%~4.49% 之间。方法前处理简单、分离效果好、专一性强、结果准确度高、精密度好。该方法可以为测定多种类型食品中的低聚异麦芽糖的检测提供较为准确、可靠的分析方法，为监管政策的落实和实施提供必要的技术支持和有力保障，具有较高的实际应用价值。

参考文献

[1] 杜慧真，程振倩，王晓华，等. 功能性低聚糖与人类健康[J]. 中华现代临床医学杂志，2010，8(3)：125−160.

[2] 尤新. 功能性低聚糖的生产与应用 [M]. 北京：中国轻工业出版社，2004：52−60.

[3] 金茂国，金屹. 蛋糕加工工艺 [M]. 第六版.北京：中国轻工业出版社，2004：199−200.

[4] Koh D, Park J, Lim J, et al. A rapid method for simultaneous quantification of 13 sugars and sugar alcohols in food products by UPLC-ELSD[J]. Food Chemistry, 2018, 240: 694−700.

[5] 张雪松，王国栋，王竹. 离子色谱一脉冲安培检测法测定食品中的聚葡萄糖[J]. 食品安全质量检测学报，2019，10(10)：2856−2860.

[6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. GB/T 20881-2017 低聚异麦芽糖 [S]. 北京：中国标准出版社，2017.

[7] 傅博强，王晶，唐治玉，等. 食品中低聚异麦芽糖高效液相色谱检测方法研究[J]. 食品工业科技，2010，41(10)：388−391.

[8] 王良东. 低聚异麦芽糖性质、功能、生产和应用[J]. 粮食与油脂，2018(4)：43−47.

[9] 单黎然，龚月桦，贾建光，等. 4 种重要功能性低聚糖的研究进展[J]. 西北农林科技大学学报，2006，34(7)：96−100.

[10] Bouhnik Y, Raskine L, Simoneau G, et al. The capacity of nondigestible carbohydrates to stimulat efecal bifidobacteria in healthy humans: Adouble-blind, randomized, placebo-cont roll ed, parallel-group, dose-response relation study[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2004, 80(6)：1658−1664.

[11] 杨海军. 低聚异麦芽糖的应用[J]. 山东食品发酵，2007(3)：33−36.

[12] 毕颖，刘燕，张平，等. 蒽酮比色法测定大豆乳清废水中总糖含量[J]. 大豆通报，2006(3)：24−25.

[13] 任一平，铁晓威，黄百芬，等. 毛细管电泳法测定食品中的低聚糖异麦芽糖含量[J]. 食品工业科技，2000，21(6)：19−24.

[14] 林家永. 异麦芽低聚糖含量测定方法的研究[J]. 食品工业科技，2009，30(6)：351−354.

[15] 吴红京，唐根源，黄志，等. 测定异麦芽低聚糖组分的高效液相色谱法[J]. 分析测试学报，2002，21(1)：63−64.

[16] 陈志颖，徐正康，郭峰，等. 液体糖中还原糖含量测定方法的研究[J]. 食品工程，2018(1)：47−52.

[17] 梁智安，王成龙，龙飞. 液相色谱示差折光法测定酒中的总糖和还原糖[J]. 食品安全质量检测学报，2018，9(9)：2188−2194.

[18] Zhang Wei, He Hongbo, Zhang Xudong. Determination of neutral sugars in soil by capillary gas chromatography after derivatization to aldononitrile acetates[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39: 2665−2669.

[19] Loos R, Gawlik B M, Boettcher K, et al. Sucralose screening in European surface waters using a solid phase extraction liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry method[J]. Journal of Chromatography A, 2009, 1216: 1126−1130.

[20] 张晓萍，段钢. 高效阴离子交换色谱-脉冲安培法检测低聚异麦芽糖[J]. 食品与发酵工业，2012，38(7)：144−147.

[21] Luca F A, Dolores M, Aranzazu G, et al. Transformation of maltose into prebiotic isomaltooligosaccharides by a novel &-glucosidase from *Xantophyllomyces dendrorhous*[J]. Process Biochemistry, 2007, 42: 1531−1536.

[22] Max F, Jinadevi S, Audrey A. Determination of complex polysaccharides by HPAE-PAD in foods: Validation using accuracy profile[J]. Journal of Chromatography B, 2009, 877: 2388−2395.

[23] Greya C, Edebrinka P, Krooka M, et al. Development of a high performance anion exchange chromatography analysis for mapping of oligosaccharides[J]. Journal of Chromatogra-phy B, 2009, 877: 1827−1832.

[24] 宋卫得，苏征，惠稀东，等. 离子色谱-积分脉冲安培检测法同时测定酱油中[J]. 色谱，2019，37(9)：996−1003.

[25] 朱叶青，吕娟，王婷婷，等. 离子色谱法同时测定蛋白胨中葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖含量 [J]. 食品安全质量检测学报 2019, 10(14): 4624−4628.

[26] 乐胜锋，王尉，王雅萱，等. 离子色谱-脉冲安培法测定芦荟多糖中 7 种单糖的含量[J]. 色谱，2019，37(3)：319−324.

[27] 邹学权，傅飞霞，陈孜. 离子色谱-脉冲安培法同时测定婴幼儿配方食品中的蔗糖与乳糖[J]. 浙江化工，2018，49(3)：48−51.

[28] 朱伟，宁啸骏，杜茹芸. 高效离子色谱法检测婴幼儿配方奶粉中的功能性低聚糖[J]. 食品科学，2017，38(24)：224−228.

[29] 李晓磊，胡才龙，李丹，高效阴离子交换色谱测定糖浆中异麦芽糖含量 [J]. 食品研究与开发，2013，34(3): 56-58.

[30] 巫广华，吴家玲，雷艳，等. 离子色谱法-脉冲安培检测器测定奶粉中果聚糖的含量[J]. 食品与发酵科技，2019，55(4)：112−115.

[31] 冉丹，张燕俊，袁列江，等. 离子色谱法检测婴幼儿配方奶粉中低聚半乳糖含量[J]. 食品研究与开发，2019(4)：148−153.

[32] 杨春芳. 超市常见含糖食品中糖含量分析 [J]. 分析检测，2020(6):139-140,146..

[33] 彭丽诗，陈琼，黄盼，等. 离子色谱-脉冲安培法同时测定食品中 9 种糖和糖醇的含量 [J]. 食品工业科技，2020, 41(9):250-254,259.

[34] 汪少芸. 蛋白质纯化与分析技术 [M]. 北京：中国轻工业出版社，2016：65−66.

[35] 黎小兰，陈彩云，蔡伟江，等. 液相色谱-质谱法测定保健食品乳清蛋白粉类中叶酸含量的前处理条件的优化[J]. 食品安全质量检测学报，2017，8(8)：3085−3091.

[36] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会，国家食品药品监督管理总局. GB 5009.89-2016 食品安全国家标准 食品中烟酸和烟酰胺的测定 [S]. 北京：中国标准出版社，2016.

[37] 张水锋，盛华栋，姜侃，等. 梯度洗脱优化-离子色谱-脉冲安培法分析婴幼儿配方乳粉中的糖和糖醇[J]. 色谱，2016，34(10)：946−950.