

离子色谱法测定蜂蜜中松二糖含量

蔡小钦, 侯美玲, 赵博*, 汪敏, 王馨婵, 黄丹丹, 李红丽, 肖美君

[重庆市食品药品检验检测研究院, 国家市场监督管理总局重点实验室(调味品监管技术), 重庆 401121]

摘要: **目的** 建立离子色谱法测定蜂蜜中松二糖的检测方法, 初步分析市售蜂蜜松二糖含量情况。**方法** 用水作为样品提取剂, 以 136 mmol/L 氢氧化钠溶液和 20 mmol/L 无水乙酸钠溶液作为淋洗液等度洗脱, 进样量 20 μ L, 流速 0.7 mL/min, 采用 Metrosep Carb 2 分离柱(250 mm \times 4.0 mm, 5.0 μ m), 以安培检测器进行测定。**结果** 离子色谱法测定蜂蜜中松二糖相关系数为 0.99955, 检出限达 0.02 g/100 g, 定量限为 0.05 g/100 g, 定量和定性的相对标准偏差分别为 1.62%和 0.089%, 加标回收率为 98.3%。**结论** 本研究建立的检测蜂蜜中松二糖含量的方法, 前处理简单、分离效果好、灵敏度高、检测结果稳定可靠, 可用于蜂蜜中松二糖含量的检测。通过对 84 个市购蜂蜜样品中松二糖含量测定分析, 可对蜂蜜中松二糖的含量测定、蜂蜜真伪鉴别及制定蜂蜜相关标准提供技术支持。

关键词: 蜂蜜; 松二糖; 离子色谱法; 鉴别

Determination of turanose in honey by ion chromatography

CAI Xiao-Qin, HOU Mei-Ling, ZHAO Bo*, WANG Min, WANG Xin-Chan,
HUANG Dan-Dan, LI Hong-Li, XIAO Mei-Jun

[Chongqing Institute for Food and Drug Control, National Key Laboratory of Market Supervision (Condiment Supervision Technology), Chongqing 401121, China]

ABSTRACT: Objective To establish an ion chromatography method for the determination of turanose in honey, and preliminary analyze the content of turanose in honey sold in the market. **Methods** Water was used as the sample extractant, and 136 mmol/L sodium hydroxide solution and 20 mmol/L anhydrous sodium acetate solution were used as eluent for isocratic elution, the injection volume was 20 μ L and the flow rate was 0.7 mL/min, using a Metrosep Carb 2 separation column (250 mm \times 4.0 mm, 5.0 μ m), the measurements were performed with an amperometric detector. **Results** The correlation coefficient of turanose in honey determined by ion chromatography was 0.99955, the limit of detection was 0.02 g/100 g, and the limit of quantification was 0.05 g/100 g, the relative standard deviations of quantitative and qualitative were 1.62% and 0.089%, respectively, and the recovery rates were 98.3%. **Conclusion** The method established in this experiment to detect the turanose in honey has simple pre-processing, good separation effect, high sensitivity, stable and reliable detection results, and can be used for the detection of turanose content in honey. Through the determination and analysis of the content of turanose in 84 commercially available honey samples, technical support can be provided for the determination of the content of turanose in honey, the identification of the authenticity of honey, and the formulation of honey-related standards.

KEY WORDS: honey; turanose; ion chromatography; identification

基金项目: 重庆市科研机构绩效激励引导专项(CQIFDC-YJKT-2021-08)

Fund: Supported by the Special Project of Performance Incentive and Guidance for Scientific Research Institutions in Chongqing (CQIFDC-YJKT-2021-08)

*通信作者: 赵博, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全与检验检测。E-mail: 2805325119@qq.com

*Corresponding author: ZHAO Bo, Master, Senior Engineer, Chongqing Institute for Food and Drug Control, No.1, Chunlan Road, Chongqing 401121, China. E-mail: 2805325119@qq.com

0 引言

蜂蜜是一种以果糖和葡萄糖为主的多糖类物质,其含量约占蜂蜜的 70%~80%,此外还含有多种寡糖,主要包括松二糖、松三糖、蔗糖、异麦芽糖、棉子糖等^[1-3]。蜂蜜营养价值高,口感独特,能改善肠胃功能,防治部分疾病^[4-6],还能健脑益智,深受大众喜爱。市场上蜂蜜种类繁多,但消费者对蜂蜜产品的辨识度不够^[7],许多不法分子为牟取暴利,通过掺杂使假等手段制作假蜂蜜、劣质蜂蜜,导致蜂蜜品质良莠不齐^[8-9],真假难辨。蜂蜜的掺假手段不断更新,现有蜂蜜的国家检测标准已无法满足市场需求^[10],因此急需探索研究新的检测技术,同步更新蜂蜜掺假的检测技术手段^[11-13]。近年来,针对蜂蜜中糖分的检测成了掺假蜂蜜检测新的突破口。松二糖是蜂蜜中特有的双糖,结构与蔗糖类似,不易被致龋微生物发酵,可作为甜味剂^[14-15]应用于食品、医药产业中^[16]。

目前,纵观国内外,检测蜂蜜中松二糖含量的方法很少,主要有核磁检测法^[17]、高效液相色谱-示差折光检测器法^[18-19]、高效液相-蒸发光散射检测器法^[20]、气相色谱-串联质谱法^[21]等。核磁共振波谱仪和质谱分析灵敏度高、准确性高,但价格昂贵、专业技术要求高、不易推广^[22];高效液相色谱-蒸发光散射检测器法分离度好但重复性较差,高效液相色谱-示差折光检测器法稳定可靠,但分离度不足,灵敏度不高,无法做痕量分析^[23]。目前离子色谱法常用于食品中果糖、蔗糖、葡萄糖的测定^[24],但鲜见蜂蜜中松二糖检测的报道,本研究可为蜂蜜检测及其掺假鉴别检测技术提供新思路。

离子色谱安培检测器法原理是待测化合物以金电极为工作电极在其表面发生氧化还原反应引起电流变化来测量化合物的含量^[25],具有如下优势:样品前处理简单、淋洗液环保安全、适用范围广,广泛应用于生活饮用水中无机阴离子和阳离子的分析^[26-28]、各类食品中的糖分分析^[29]、食品添加剂的分析^[30-31]、乳及乳制品的分析^[32-33]等;其灵敏度高、分离效果好、重现性好、检出限低,可做痕量分析^[34-36]。本研究建立蜂蜜中松二糖含量的离子色谱测定方法,对市售蜂蜜中松二糖含量进行测定,为我国蜂蜜行业的发展和品质质量控制技术提供支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

蜂蜜样品(含 17 种声称蜜源,市售)。

果糖、葡萄糖、蔗糖(99.7%,中国计量质量检测研究院);松二糖(99.4%,广州佳途科技股份有限公司);50%氢氧化钠溶液(色谱纯,上海安谱实验科技股份有限公司);无水乙酸钠(色谱纯,美国赛默飞公司)。

1.2 仪器与设备

940 型离子色谱仪、Metrosep Carb 2 分离柱(250 mm×4.0 mm, 5.0 μm)(瑞士万通公司);BSA224S 型电子天平(精度 0.0001 g,德国赛多利斯公司);A10 型超纯水机(法国默克密理博公司);SB25-12DTN 型超声波清洗器(宁波新芝生物科技股份有限公司);DK-S28 型恒温水浴锅(上海精宏实验设备有限公司);0.22 μm 水系滤膜(重庆高攀科技有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 标准溶液配制

4 种标准溶液的配制:分别称取标准品葡萄糖、果糖、蔗糖、松二糖 0.0500 g 置于 50 mL 的容量瓶里,加水溶解,定容至刻度,配成质量浓度为 1000 μg/mL 的标准溶液。

松二糖曲线工作液的配制:取松二糖标准溶液 0.00、0.50、1.00、2.00、4.00、6.00、8.00 mL 于 100 mL 的容量瓶中,加水定容至 100 mL,配成质量浓度为 0、5、10、20、40、60、80 μg/mL 的工作液,临用时现配现用。

流动相溶液:A:135 mmol/L 的氢氧化钠溶液,称取 10.8 g 的 50%氢氧化钠溶液加水溶解至 1 L;B:150 mmol/L 的氢氧化钠溶液加 200 mmol/L 的无水乙酸钠溶液,称 12.0 g 的 50%液氢氧化钠和 16.4 g 无水乙酸钠加水溶解并定容至于 1 L。

1.3.2 样品的预处理

测试前,液体状态的样品混匀后取样;若有部分或全部结晶的,需在 50 °C 水浴锅上温热融化后迅速冷却至室温。用电子天平称取搅拌均匀的蜂蜜样品 1~2 g 置于 50 mL 的容量瓶中加水溶解超声 15 min,定容至刻度。通过预实验发现蜂蜜样品的杂质干扰较小,且该方法检出限低,故直接将样品溶液用水稀释 10 倍,过 0.22 μm 水系滤膜,待测。

1.3.3 色谱条件和测定方法

进样量:20 μL;流速:0.7 mL/min;色谱柱: Metrosep Carb 2 分离柱(250 mm×4.0 mm, 5.0 μm);柱温度:35 °C;检测器: Au 电极的安培检测器。

淋洗液: A:B=90:10 (V:V) 等度洗脱。

1.3.4 数据处理

采用 Excel 分析数据、制表, Origin 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 淋洗液浓度的选择

离子色谱法分析蜂蜜样品时,实验采用的淋洗液是氢氧化钠溶液和无水乙酸钠溶液,表 1 统计了两者在不同比例情况下目标峰的分离情况。

由表 1 氢氧化钠和乙酸钠溶液不同比例的淋洗液洗脱分离情况表明淋洗液在氢氧化钠和乙酸钠溶液的浓度为

136:20 时分离效果最好。由于样品基质复杂, 对分离柱柱效影响很大, 可在每次样品分析后, 对分离柱进行再生, 再生液 A:B=50:50 (V:V)。

2.2 标准曲线和方法检出限、定量限

按 1.3.1 配制好的松二糖标准曲线工作液, 进离子色谱仪得到松二糖线性范围、曲线回归方程、相关系数, 以仪器信噪比为 3:1 时测定检出限和以仪器信噪比 10:1 时测定定量限, 结果如表 2 所示。

结果表明该实验方法有较好的线性关系且线性范围宽, GB 5009.8—2016《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》中第一法高效液相色谱法规定各糖分的检出限为 0.2 g/100 g 和 GH/T 1316—2020《蜂蜜中松二糖、松三糖、吡喃葡萄糖基蔗糖、异麦芽糖和蜜三糖含量的测定 高效液相色谱法》中规定各糖分的定量限为 0.2 g/100 g, 与上述方法相比较, 本方法灵敏度更好, 检出限、定量限更低。

2.3 精密度与加标回收率

精确称取某一蜂蜜样品, 进行 3 水平加标回收实验, 加标含量分别为 0.25、0.50、1.00 g/100 g, 每个水平做 3 次平行实验, 3 水平平均回收率分别为 99.1%、98.1%、97.6%。取同一标准溶液浓度, 连续进样 6 次, 结果如表 3 所示。

表 3 可见, 该方法定量(峰面积)和定性(保留时间)相对标准偏差分别为 1.62%、0.089%, 均低于 2.0%, 总平均回收率为 98.3%, 符合实验要求。表明离子色谱法测定松二糖精密度高、准确性好, 实验结果可靠。

2.4 市购蜂蜜样品松二糖的测定结果

蜂蜜的主要糖分是果糖和葡萄糖, 有少量的蔗糖和松二糖等, GB 14963—2011《食品安全国家标准 蜂蜜》技术要求规范了蜂蜜中果糖、葡萄糖和蔗糖含量要求。通过建立的离子色谱法对标准物质进行测试, 结果如图 1 所示, 松二糖与葡萄糖、果糖及松二糖的同分异构体蔗糖分离效果较好。

表 1 淋洗液不同比例下目标峰分离情况
Table 1 Separation of target peaks under different ratios of eluent

氢氧化钠浓度/(mmol/L)	乙酸钠浓度/(mmol/L)	果糖、葡萄糖、蔗糖、松二糖的色谱峰分离效果
90	30	果糖、葡萄糖未分开
150	15	分离度略好, 因为乙酸钠的浓度减少, 洗脱能力减弱, 目标峰的保留时间较长且峰型不佳, 峰宽较宽
200	20	松二糖和蔗糖本是同分异构体, 氢氧化钠溶液浓度过大, 洗脱能力太强, 松二糖和蔗糖分离效果很差, 且果糖和葡萄糖也未分开
136	20	最适宜, 保留时间短且峰型好、分离度满意

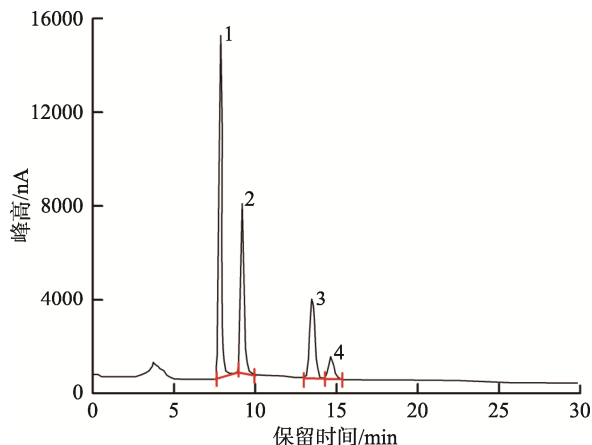
表 2 标准曲线线性及检出限、定量限结果统计
Table 2 Results statistics of standard curve linearity, detection limit and quantification limit

化合物	线性范围/($\mu\text{g/mL}$)	回归方程	相关系数(r^2)	检出限/(g/100 g)	定量限/(g/100 g)
松二糖	5~80	$Y=0.501X-18.029$	0.99955	0.02	0.05

注: X 为进样溶液质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; Y 为峰面积。

表 3 精密度结果统计($n=3$)
Table 3 Statistics of precision results ($n=3$)

序号	峰面积	平均值	相对标准偏差/%	保留时间/min	平均值	相对标准偏差/%
1	365.863			14.91		
2	371.863			14.90		
3	379.491			14.90		
4	376.902	375.67	1.62	14.90	14.90	0.089
5	383.180			14.92		
6	376.719			14.88		



注: 1: 葡萄糖 40 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 2: 果糖 40 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 3: 蔗糖 40 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 4: 松二糖 40 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

图 1 标准物质质谱峰图

Fig.1 Chromatographic peak of standard substance

通过建立的离子色谱法对蜂蜜样品进行测试, 结果如图 2 所示, 分析蜂蜜样品时松二糖能与非目标物质达到有效分离, 分离效果好。

市购蜂蜜样品中松二糖含量检测结果及蜜源种类如表 4 和表 5 所示, 由表 4、5 可知, 市购蜂蜜中松二糖含量范围在 0~2.8 g/100 g 之间, 不同蜜源的松二糖含量有一定

差异, 其中部分含量为 0 g/100 g 的样品疑是假蜂蜜, 可能由不同糖浆物质勾兑而成的, 但需结合其他检测手段辅助验证。从样品声称蜜源来看, 洋槐蜜、枣花蜜、枸杞蜜、桂圆蜜、柑桔蜜的松二糖含量较高, 雪脂莲蜜的松二糖含量最少, 百花蜜含量高低不一, 可能是蜜蜂采集不同花种引起。本次实验采购市售的蜂蜜, 种类覆盖不全面, 且不同蜜源样品数量不一, 代表性稍差, 有待进一步研究验证蜜源中松二糖含量分布情况。

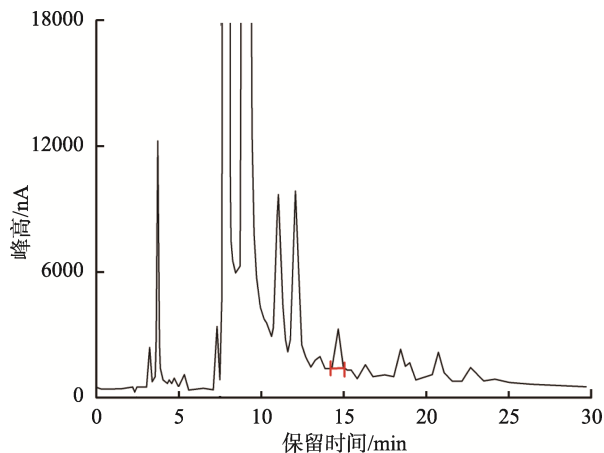


图 2 蜂蜜样品中松二糖色谱图

Fig.2 Chromatogram of turanose in honey sample

表 4 市购样品中松二糖含量检测结果
Table 4 Test results of turanose content in commercially available samples

序号	松二糖含量/ (g/100 g)	序号	松二糖含量/ (g/100 g)	序号	松二糖含量/ (g/100g)	序号	松二糖含量/ (g/100 g)
1	1.799	22	2.127	43	0.737	64	1.627
2	1.279	23	1.983	44	1.599	65	1.858
3	1.747	24	0.471	45	0.141	66	2.018
4	0.431	25	2.494	46	0.110	67	1.450
5	0.593	26	0.783	47	0	68	0
6	1.986	27	0.718	48	2.017	69	1.359
7	0.403	28	1.483	49	1.210	70	1.401
8	2.125	29	0.946	50	1.228	71	1.813
9	2.144	30	1.404	51	0.927	72	2.231
10	2.298	31	1.511	52	1.892	73	1.387
11	2.039	32	1.815	53	1.662	74	1.998
12	1.768	33	1.446	54	1.275	75	1.654
13	1.899	34	1.404	55	2.172	76	1.816
14	1.584	35	1.669	56	2.016	77	1.436
15	1.466	36	1.966	57	1.903	78	1.978
16	0.974	37	2.647	58	1.888	79	2.596
17	0.873	38	0	59	1.842	80	2.598
18	1.679	39	2.714	60	1.373	81	0.444
19	0.727	40	0.733	61	1.634	82	1.897
20	2.460	41	2.239	62	1.665	83	2.001
21	2.139	42	0.925	63	1.021	84	1.220

表5 市购样品蜜源统计
Table 5 Statistics of nectar sources of commercially purchased samples

蜜源	序号	蜜源	序号	蜜源	序号	蜜源	序号
百花蜜	1~24	党参蜜	25~27	椴树蜜	28~29	柑桔蜜	30~34
枸杞蜜	35~36	桂圆蜜	37~39	枇杷蜜	40	苕子花蜜	41
水清树蜜	42	五倍子蜜	43	五味子蜜	44	雪脂莲蜜	45~46
洋槐蜜	47~65	益母草蜜	66	油菜蜜	67~77	枣花蜜	78~83
紫苜蓿蜜	84						

3 讨论与结论

本研究建立了离子色谱法测定蜂蜜中的松二糖的方法,结果表明该方法仪器稳定性好、灵敏度高、精密度高、回收率好,同时具有操作简单、快捷高效、相对环保等优点,具有较好的适用性和可操作性。

不同样品中松二糖含量差异较大,目前我国对蜂蜜中松二糖含量的判定上缺乏相应的标准,所以需要进一步研究松二糖含量与蜜源种类之间的关系以此来评价蜂蜜质量。蜂蜜鉴别掺假的方法有感官识别、检测淀粉酶活性、显微镜检验法、稳定碳同位素比率分析法、红外光谱技术等,但市场上蜂蜜掺假手段复杂多样,或采用糖浆和香精勾兑,或在真蜂蜜中添加糖浆以次充好,单一的检测手段往往不能完全鉴别优劣,需结合多种检测手段辨别真假。离子色谱法测定松二糖含量有较高的实用价值,通过建立蜂蜜标志物数据库来辅助鉴别蜂蜜真伪,为蜂蜜真伪鉴别和蜂蜜等级评定提供有效的技术支持。

参考文献

- [1] 余娜,周光明,朱娟. 离子色谱法检测蜂蜜和葡萄酒中的蔗糖、葡萄糖和果糖[J]. 食品科学, 2010, 31(16): 188-191.
YU N, ZHOU GM, ZHU J. Determination of sucrose, glucose and fructose in honey and wine by ion chromatography [J]. J Food Sci, 2010, 31(16): 188-191.
- [2] 王玉涵,王欣然,李耀,等. 蜂蜜中功能营养成分及特征研究进展[J]. 农产品质量与安全, 2020, (4): 85-92.
WANG YH, WANG XR, LI Y, *et al.* Research progress in functional nutrition components and characteristics of honey [J]. Qual Saf Agro-prod, 2020, (4): 85-92.
- [3] SANTOS ACD, BILUCA FC, BRAGHINI F, *et al.* Phenolic composition and biological activities of stingless bee honey: An overview based on its aglycone and glycoside compounds [J]. Food Res Int, 2021, 147: 110553.
- [4] 张恢平. 常年饮用蜂蜜的好处[J]. 蜜蜂杂志, 2018, 38(1): 38-39.
ZHANG HP. Benefits of drinking honey throughout the year [J]. J Bee, 2018, 38(1): 38-39.
- [5] ALEVIA M, RASINES S, CANTERO L, *et al.* Chemical extraction and gastrointestinal digestion of honey: Influence on its antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities [J]. Foods, 2021, 10(6): 1412.
- [6] SERAGLIO SKT, SCHULZ M, GONZAGA LV, *et al.* Current status of

the gastrointestinal digestion effects on honey: A comprehensive review [J]. Food Chem, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129807>

- [7] 孙翠清,刘朋飞,崔奇峰. 蜂产品认知与消费行为调查研究[J]. 蜜蜂杂志, 2021, 41(2): 14-19.
SUN CQ, LIU PF, CUI QF. Research of bee products' cognition and consumption behavior [J]. J Bee, 2021, 41(2): 14-19.
- [8] 田洪芸,王冠群,任雪梅,等. 我国蜂蜜产品行业概况及主要质量安全风险分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(7): 2314-2318.
TIAN HY, WANG GQ, REN XM, *et al.* General situation of honey products industry in China and major quality and safety risks analysis [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(7): 2314-2318.
- [9] 吴彦蕾,赵博,段云鹏,等. 蜂蜜中植物糖浆掺假检测技术研究进展[J]. 现代食品, 2020, (2): 47-49.
WU YL, ZHAO B, DUAN YP, *et al.* Research progress of adulteration detection technology of plant syrup in honey [J]. Mod Food, 2020, (2): 47-49.
- [10] 张萌,张路瑶,陈瑞盈,等. 基于糖类物质差异鉴别掺假蜂蜜技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(19): 201-207.
ZHANG M, ZHANG LY, CHEN RY, *et al.* Research progress in the identification of honey adulteration based on the difference of carbohydrate [J]. Food Res Dev, 2018, 39(19): 201-207.
- [11] VALINGER D, LONGIN L, GRBES F, *et al.* Detection of honey adulteration-the potential of UV-VIS and NIR spectroscopy coupled with multivariate analysis [J]. Food Sci Technol, 2021, 145: 111316.
- [12] FAKHLAEI R, SELAMAT J, KHATIB A, *et al.* The toxic impact of honey adulteration: A review [J]. Foods, 2020. DOI: 10.3390/foods9111538
- [13] SE KW, WAHAB RA, YAACOB SNS, *et al.* Detection techniques for adulterants in honey: Challenges and recent trends [J]. J Food Comp Anal, 2019, 80: 16-32.
- [14] 邢晨晨,王蕾,郭志勇,等. *Caulobacter crescentus* 蔗糖水解酶突变体 S271A 的重组表达及其转化蔗糖制备松二糖的研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(2): 20-25.
XING CC, WANG L, GUO ZY, *et al.* Recombinant expression of *Caulobacter crescentus* sucrose hydrolase mutant S271A and its conversion of sucrose to turanose [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(2): 20-25.
- [15] HAN DJ, LEE BH, YOO SH. Physicochemical properties of turanose and its potential applications as a sucrose substitute [J]. Food Sci Biotechnol, 2021, 30(3): 433-441.
- [16] PARK MO, LEE BH, LIM E, *et al.* Enzymatic process for high-yield turanose production and its potential property as an adipogenesis regulator [J]. J Agric Food Chem, 2016, 64(23): 4758-4764.
- [17] 鲁惠玲,林宏,陈磊,等. 蜂蜜中松二糖的核磁检测[J]. 分析试验室,

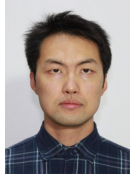
- 2021, 40(8): 893–897.
LU HL, LIN H, CHEN L, *et al.* Study of measuring turanose in honey by NMR method [J]. *Chin J Anal Lab*, 2021, 40(8): 893–897.
- [18] 王翔璐, 林宏, 任仕云, 等. 高效液相色谱法测定蜂蜜王浆中 6 种糖的含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(11): 4474–4479.
WANG XL, LIN H, REN SY, *et al.* Determination of the 6 kinds of sugars content in royal jelly by high performance liquid chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(11): 4474–4479.
- [19] 晁红娟, 吕红萍, 叶双明, 等. 高效液相色谱-示差折光检测器检测鱼油甘油酯含量[J]. *中国食品添加剂*, 2021, 32(12): 170–175.
CHAO HJ, LV HP, YE SM, *et al.* Determination of glycerol ester in triglyceride fish oil by high performance liquid chromatography differential refractive index detector [J]. *China Food Addit*, 2021, 32(12): 170–175.
- [20] 牛倩倩, 许馨, 曾雪莹, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射法测定植物油中 9 种脂肪酸含量[J]. *食品与机械*, 2021, 37(7): 51–56, 93.
NIU QQ, XU X, ZENG XY, *et al.* Determination of 9 kinds of fatty acids in vegetable oil by HPLC-ELSD [J]. *Food Mach*, 2021, 37(7): 51–56, 93.
- [21] 坚乃丹, 李文丽, 张视莉, 等. 基于气相色谱-串联质谱技术测定植物组织中糖与糖醇[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(8): 224–229.
JIAN ND, LI WL, ZHANG ZL, *et al.* Determination of sugar and sugar alcohol in plant tissues by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(8): 224–229.
- [22] 郭项雨, 赵卫哲, 王锋, 等. 离子色谱法和高效液相色谱法测定化妆品中的丁卡因及其盐类[J]. *日用化学工业*, 2020, 50(9): 648–652.
GUO XY, ZHAO WZ, WANG F, *et al.* Determination of tetracaine and its salts in cosmetics by IC and HPLC [J]. *Daily Chem Ind*, 2020, 50(9): 648–652.
- [23] 杨雯, 王嘉, 王栋, 等. 多糖中单糖测定方法的研究进展[J]. *北方药学*, 2020, 17(8): 181–183.
YANG W, WANG J, WANG D, *et al.* Advances in the determination of monosaccharides in polysaccharides [J]. *J North Pharm*, 2020, 17(8): 181–183.
- [24] 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.
ZHU YQ, LV J, WANG TT, *et al.* Simultaneous determination of glucose, fructose, sucrose, maltose and lactose in peptone by ion chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(14): 4624–4628.
- [25] 巫广华, 凌海. 离子色谱-脉冲安培法同时检测饼干中 6 种游离糖的含量[J]. *食品安全导刊*, 2021, (21): 102–104.
WU GH, LING H. Simultaneous determination of 6 kinds of free sugars in biscuits by ion chromatography-pulse amperometry [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2021, (21): 102–104.
- [26] 王岩. 离子色谱法在生活饮用水中的应用及故障处理方法[J]. *炼油与化工*, 2020, 31(5): 64–65.
WANG Y. Application of ion chromatography in drinking water and troubleshooting methods [J]. *Ref Chem Ind*, 2020, 31(5): 64–65.
- [27] 曹文军, 李源, 薛伟锋. 离子色谱法同时检测水产品加工用水中 10 种阴离子[J]. *化学分析计量*, 2021, 30(11): 46–49.
CAO WJ, LI Y, XUE WF. Simultaneous determination of 10 anions in processing water of aquatic products by ion chromatography [J]. *Chem Anal Meter*, 2021, 30(11): 46–49.
- [28] NIZIŃSKI P, WIŚNIEWSKA P, KOŃCZYK J, *et al.* Perchlorate levels in polish water samples of various origin [J]. *Separations*, 2021, 8(4): 37.
- [29] ZHU Z, ZHANG Y, WANG J, *et al.* Characterization of sugar composition in Chinese royal jelly by ion chromatography with pulsed amperometric detection [J]. *J Food Comp Anal*, 2019, 78: 101–107.
- [30] 董静. 离子色谱法在食品添加剂检测中的应用[J]. *食品科技*, 2021, (27): 130–132.
DONG J. Application of ion chromatography in the detection of food additives [J]. *Food Sci Technol*, 2021, (27): 130–132.
- [31] 文明宇. 离子色谱法在食品添加剂检测中的应用分析[J]. *食品技术研究*, 2019, (18): 167.
WEN MY. Application analysis of ion chromatography in the detection of food additives [J]. *Food Technol Res*, 2019, (18): 167.
- [32] 杨俊华, 赵娟, 马静, 等. 等度离子色谱测定生鲜乳氯离子方法的研究及应用[J]. *宁夏农林科技*, 2020, 61(11): 69–71.
YANG JH, ZHAO J, MA J, *et al.* Study on and application of determination of chloride ion in fresh milk by ion chromatography [J]. *Ningxia J Agric Forest Sci Technol*, 2020, 61(11): 69–71.
- [33] 武伦玮, 胡雪, 段国霞, 等. 离子色谱法对乳与乳制品中亚硝酸盐和硝酸盐含量测定的方法改进及探讨[J]. *饮料工业*, 2021, 24(4): 22–30.
WU LW, HU X, DUAN GX, *et al.* Improvement and discussion on determination of nitrite and nitrate in milk and dairy products by ion chromatography [J]. *Beverage Ind*, 2021, 24(4): 22–30.
- [34] LIU S, XU J, LU Y, *et al.* Trace analysis of anions in perfluorodecalin by green liquid-liquid extraction combined with ion chromatography [J]. *J Anal Test*, 2021. DOI: 10.1007/s41664-021-00187-8
- [35] 陶云亭. 离子色谱检测方法的应用进展[J]. *云南化工*, 2020, 47(2): 9–10.
TAO YT. Application progress of ion chromatography detection methods [J]. *Yunnan Chem Technol*, 2020, 47(2): 9–10.
- [36] 梁静. 离子色谱在食品检测中的应用[J]. *食品科技*, 2021, (29): 152–153.
LIANG J. Application of ion chromatography in food detection [J]. *Food Sci Technol*, 2021, (29): 152–153.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



蔡小钦, 工程师, 主要研究方向为食品质量安全与检验检测。
E-mail: 935413629@qq.com



赵博, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全与检验检测。
E-mail: 2805325119@qq.com