

食品中甜蜜素检测方法的研究进展

莫益倩^{1,2,3*}, 廖雯意^{1,2,3}, 肖之敏^{1,2,3}, 李志龙^{1,2,3}

(1. 广东省食品工业公共实验室, 广州 511442; 2. 广东省食品工业研究所有限公司, 广州 511442;
3. 广东省食品质量监督检验站, 广州 511442)

摘要: 甜蜜素又称环己基氨基磺酸钠, 是常见的食品高倍甜味剂之一。目前我国允许在冷冻饮品、蔬菜水果制品和焙烤食品等添加甜蜜素, 并明确规定了各类食品中甜蜜素的最大使用量, 但仍有部分食品超范围、超量添加甜蜜素。研究发现长期过量食用甜蜜素不利于人体健康, 因此符合规定的使用甜蜜素, 严格控制甜蜜素的用法用量至关重要。本文总结了多种食品基质中甜蜜素检测方法, 重点阐述了气相色谱法、液相色谱法、离子色谱法以及分光光度法检测甜蜜素的区别, 比较各种方法的优缺点, 探讨了未来甜蜜素的检测方向, 以为提升我国食品添加剂合理使用提供支撑。

关键词: 甜蜜素; 食品; 检测方法

Research progress on the detection methods of cyclamate in food

MO Yi-Qian^{1,2,3*}, LIAO Wen-Yi^{1,2,3}, XIAO Zhi-Min^{1,2,3}, LI Zhi-Long^{1,2,3}

(1. Guangdong Provincial Public Laboratory of Food Industry, Guangzhou 511442, China; 2. Guangdong Food Industry Institute Co., Ltd., Guangzhou 511442, China; 3. Guangdong Food Quality Supervision and Inspection Station, Guangzhou 511442, China)

ABSTRACT: Cyclamate, also known as sodium cyclamate, is one of the common high-power sweeteners for food. At present, China allows the addition of cyclamate in 8 food categories, such as frozen drinks, vegetable and fruit products, and baked food, etc., and clearly stipulates the maximum usages of cyclamate in all kinds of food. However, cyclamate was still added out of range and amount. It is found that long-term excessive consumption of sodium cyclamate is not conducive to human health, so it is crucial to use cyclamate in compliance and strictly control the usage and dosage of cyclamate. This paper summarized the detection methods of cyclamate in various food substrates, and highlighted the differences of gas chromatography, liquid chromatography, ion chromatography and spectrophotometry for the determination of cyclamate. In addition, this article also compared the advantages and disadvantages of these methods, and discussed the direction in future detection of cyclamate, which would provide a support for the reasonable use of food additives in China.

KEY WORDS: cyclamate; food; detection methods

1 引言

甜蜜素化学名称为环己基氨基磺酸钠($C_6H_{11}NHSO_3Na$), 是由氨基磺酸与环己胺($C_6H_{11}NH_2$)及

NaOH 反应而制成的白色针状、片状结晶或结晶状粉末, 是一种应用广泛的人工合成的高倍甜味剂, 其甜度可达蔗糖甜度 30 倍左右^[1,2]且作为食品添加剂加入食品时能较好地保持食品中的原有风味, 在干制品、蜜饯、糕点、饮品等

*通讯作者: 莫益倩, 助理工程师, 主要研究方向为食品添加剂的检测。E-mail: 892420128@qq.com

*Corresponding author: MO Yi-Qian, Assistant Engineer, Guangdong Provincial Public Laboratory of Food Industry, Guangzhou 511442, China. E-mail: 892420128@qq.com

各类食品中均可见到甜蜜素的存在^[3-5]。

目前,我国允许甜蜜素作为食品甜味剂加入食品中改善食品风味。例如,GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》^[6]明确规定了面包、饮料、蜜饯凉果等十几类食品中允许使用甜蜜素,最大允许使用量范围为 0.65~8.0 g/kg。2017 年国家卫生计生委发布公告,扩大甜蜜素的适用范围,同意在方便米面类食品中适量添加甜蜜素。

尽管甜蜜素已应用广泛,但国外对甜蜜素的应用依旧存在争议。日本、欧美等发达国家严禁在食品中添加甜蜜素^[2]。有研究表明,过量的甜蜜素摄入会加重肝脏和神经的负担^[7-9],并且长期食用会对肾脏有一定的毒副作用^[1,10,11],给细胞带来负面影响^[12,13],特别是对代谢排毒的能力较弱的老人、孕妇、小孩,其危害更明显。同时甜蜜素在胃肠道内转化为环己胺或二环己基胺,可能具有潜在的致癌性^[14-16]。有效监控食品中甜蜜素的添加和使用,不仅可以一定程度上降低存在的健康风险,还能够促进食品产业合法合规的使用食品添加剂。本文主要探讨和比较不同的甜蜜素检测方法,以期对食品添加剂合理使用提供支撑。

2 甜蜜素的检测方法

2.1 气相色谱法

气相色谱法以惰性气体作为流动相,是一种针对易于挥发而不发生分解的化合物进行分离的色谱技术,具有分离效率高、灵敏度高、分析速度快、样品用量少和测量过程简便等特点^[17,18]。但因检测时需要气化检测组分,因此无机物和高沸点有机物的试样不适用气相色谱法,在应用时收到一定的限制。

GB 5009.97-2016《食品中环己基氨基磺酸钠的测定》^[19]中提供了通过气相色谱检测甜蜜素的方法,甜蜜素在衍生反应中生成了两个产物,分别为环己醇亚硝酸酯和环己醇。随放置时间的延长,两种产物相互转变,存在动态平衡,两个峰的面积和始终保持一致^[3,7,20],保证了检测结果的准确度。在回收率方面,气相色谱技术可以最大程度地实现对食品中两种甜蜜素衍生反应产物的回收,其回收率基本上可以维持在 95%~104%^[3,21]。此外,通过气相色谱技术的应用,食品甜蜜素检测的精确度也得到了大幅度的提升。经统计,在 8 次检测结果中,偏差率可以保持在 3%左右^[21]。在测量不确定度方面,袁河等^[22]通过气相色谱法对槟榔样品中甜蜜素含量进行不确定度评定,发现在 95%置信区间下, $k=2$ 时,相对扩展不确定度为 2.8%。

有研究对 GB 5009.97-2016^[19]的方法进行了优化,研究表明,样品基质,甜蜜素提取前处理,以及衍生条件都能对检测结果产生影响^[17]。郭红云^[23]发现固体样品前处理过程中的处理方式也会对检测结果的回收率产生影响。蜜

饴、糕点等固体试样采用打碎处理后,回收率有所提升,检测结果准确性好;采用手动震荡 80 次或在漩涡混合器上以 3000 r/min 振动 1 min 后,也出现了甜蜜素回收率提升。王豆等^[24]发现将提取液换成正己烷后,上清液粘稠度降低,进样针推杆不易弯曲,使用寿命较长,对检测结果的回收率也没有产生显著影响。张志强等^[25]采用了 3 种不同的提取方式,结果发现相较于超声提取法和高速匀浆法,漩涡振荡法提取效率更高,可有效提高检测结果的回收率和稳定性。刘本发等^[26]研究发现在甜蜜素衍生物萃取液中使用无水硫酸钠脱水的方法,抑制环己醇亚硝酸酯水解,达到提高甜蜜素衍生物萃取稳定性的目的,可以极大提高检测结果的回收率。包琴等^[15]和姜薇等^[27]对衍生化条件进行优化,通过比对峰面积和环己醇亚硝酸酯和环己醇两组分分离度,发现适当的亚硝酸钠用量、硫酸用量、衍生温度以及衍生时间,均有利于甜蜜素的高效检出。

2.2 液相色谱法

高效液相色谱是以液体为流动相,将具有不同极性 or 不同比例的混合溶剂、缓冲液等采用高压输液系统泵入色谱柱,在柱内分离后,于检测器内进行检出^[28,29]。该方法具有分析速度快、分离效果好、灵敏度高和检出限低等特点,已经被广泛应用于甜蜜素的检测中^[18,30]。

GB/T 5009.97-2016^[19]中已有较为成熟的液相检测方法。有研究采用液相色谱法对食品中的甜蜜素含量进行了测量不确定度评定,发现在 95%置信区间下, $k=2$ 时,相对扩展不确定度为 3.12%^[31],回收率可达 90.3%~108%^[32]。在实际食品生产加工过程中,往往会复配食品添加剂来提升食品的风味和品质,因此一次测量多种添加剂成为了新的研究热点。有研究发现通过高效液相色谱法可以同时检测出多种食品添加剂成分,极大地提升了检测效率,降低了检测成本。例如,方光伟等^[33]通过固相萃取柱净化浓缩,经 C_{18} 柱梯度洗脱后,以高效液相色谱-蒸发光散射检测法检测了对安赛蜜、糖精钠和甜蜜素等 9 种甜味剂有效分离和准确测定。

GB/T 5009.97-2016 中液相色谱-质谱/质谱法可用于检测酒中的甜蜜素含量^[7]。SN/T 1948-2007《进出口食品中环己基氨基磺酸钠的检测方法 液相色谱-质谱/质谱法》^[34]适用于水果罐头、浓缩山葡萄汁、白酒、糕点、糖果、甜面酱和酱菜中环己基氨基磺酸钠的检测。研究发现^[35-38]液相色谱-质谱/质谱法检测微量或痕量甜蜜素高效稳定,操作简单,回收率接近 100%,在 95%置信区间下, $k=2$ 时,相对扩展不确定度为 7.32%^[39]。研究发现^[28,36,40-43]液相色谱-质谱/质谱法还能同时测量多种食品基质中咖啡因、苯甲酸、山梨酸、安赛蜜、糖精钠、甜蜜素等多种添加剂。在检测条件允许的情况下,液相色谱-质谱/质谱法成为同时检测多种食品添加剂的潜在方法,如何在检测时更加的

准确高效将是我们日后研究的方向。

2.3 离子色谱法

离子色谱法(ion chromatography, IC)是利用离子交换原理,连续对共存的多种阴离子或阳离子进行分离、定性和定量的方法,因简便灵敏,无干扰,结果误差小而被推广应用^[44]。相较气相色谱和液相色谱,目前市面上离子色谱的分离柱种类较少,而离子色谱检测结果受分离柱的影响较大,因此离子色谱的应用受到了局限。有研究发现,采用离子色谱法测定食品中甜蜜素含量的加标回收率可达 96%~108%^[45,46]。

在白酒中的甜蜜素检测中,通过优化离子色谱分离柱条件,不仅在一个较广泛的浓度范围内获得了稳定的线性关系,而且避免了液相色谱法检测酒类甜蜜素时需要的柱铅衍生化^[47,48]。朱怀远等^[49]将食品划分为可溶于水及不可溶于水两个大类,经过较为简单的振荡萃取的前处理,即可在 5~200 $\mu\text{g/mL}$ 范围内,获得良好的线性关系,实现对甜蜜素的快速和准确测定。有研究比较气相色谱法、液相色谱法与离子色谱法在测定甜蜜素含量时的性能差异,发现 3 种方法结果无显著差异,离子色谱检测甜蜜素的技术参数可以达到国家标准中气相色谱法和液相色谱法的要求,同时具有低浓度下的检测稳定性^[44,50,51]。闫吉昌等^[52]使用透析法对样品前处理后,发现离子色谱法可以测定出冰淇淋、蛋糕、大酱和麻辣明太鱼等多种复杂基质食品中甜蜜素含量。

3 分光光度计法

通过测定物质在特定波长处或一定波长范围内光的吸收度,对该物质进行定性和定量分析的方法叫做分光光度法,根据波长不同又分为可见光分光光度法和紫外分光光度法^[2,53]。分光光度法对仪器条件要求较低,高效快速,但无法同时测定多种食品添加剂,且当样品基质不同时,对结果的影响较大。

甜蜜素被盐酸酸化后,能与氯化钡和亚硝酸钠反应生成一种乳白色沉淀,该沉淀稳定性好,在一定条件下可通过分光光度计和浊度计检测甜蜜素含量。王秀玲等^[54]利用这一性质,在 700 nm 波长下测得的透光率与甜蜜素含量在 0.015~0.75 g/kg 范围内线性关系良好,符合比尔定律,回收率可达 90%~107.7%,因此该法可以准确测定样品中甜蜜素的含量。

研究发现甜蜜素在紫外光下有特定的吸收波长,利用这个特性可以采用紫外分光光度法测量甜蜜素。在酸性条件下用乙酸乙酯提取甜蜜素,通过氢氧化钠溶液反提取,加入过量的次氯酸钠,使甜蜜素转变为 N,N-二氯环己胺,溶于环己烷,在波长 304 nm 处测定,研究结果表明:当检测溶液甜蜜素的质量浓度在 0.2~1.0 g/L 范围内符合比尔定

律,回收率为 95%~102.7%^[55,56]。

4 浊度法

浊度计是专门用来测量和确定水或者液体浑浊程度的装置,当光线通过液面后,同时有很强的散射光、透射光和入射光,3 种光线光强比值与液体浊度相关^[57]。利用这一特点,浊度计可以快速简便的检测液体浊度。

罗贤英^[58]和曾光远等^[59]利用甜蜜素能与物质反应生成乳白色沉淀这一性质,通过浊度计测得甜蜜素含量。该方法检测甜蜜素的线性范围在 0~0.85 g/L,相对而言浊度法的精度和灵敏度不如色谱法,但因操作简单、所用设备方便携带、数据稳定性较好成为了快速测定的首选方法之一。

5 展望

近些年我国国民的生活水平不断提升,越来越多的人不再仅仅关注食品的风味,也重视食品的安全问题。随着近些年食品添加剂的应用越来越广泛,不单是甜蜜素的合理规范使用,复配后的食品添加剂是否食用过多,也逐渐受到重视。为了保障食品添加剂复配的规范添加,降低食品安全风险,如何快速高效准确便捷的检测出包含甜蜜素在内的多种食品添加剂的含量是今后检验检测人员努力的方向。

参考文献

- [1] 陈妍,鲍晓瑾,朱洪亮,等. 食品中甜蜜素检测不确定度评定[J]. 中国食品添加剂, 2017, (12): 210-213.
Chen Y, Bao XJ, Zhu HL, et al. Evaluation of uncertainty for determination of sodium N-cyclohexylsulfamate in food [J]. China Food Addit, 2017, (12): 210-213.
- [2] 李雪春,林野. 气相色谱法测定酱油中甜蜜素[J]. 理化检验-化学分册, 2017, (2): 230-232.
Li CY, Lin Y. Determination of cyclamate in soy sauce by gas chromatography [J]. Phys Test Chem Anal Part B, 2017, (2): 230-232.
- [3] 杨娟,钟佳青,张翠格,等. 食品中甜蜜素定量方法的改进[J]. 食品工业, 2015, 36(5): 275-278.
Yang J, Zhong JQ, Zhang CG, et al. Improvement in quantitative method of sodium cyclamate in food [S]. Food Ind, 2015, 36(5): 275-278.
- [4] 李婷. 分光光度法在食品检测中的应用标准研究[J]. 中国标准化, 2017, (16): 57-58.
Li T. Study on application standard of spectrophotometry in food inspection [J]. China Standard, 2017, (16): 57-58.
- [5] 杨小琪,黎源倩,邹晓莉. 食品中甜味剂的离子对高效液相色谱法测定[J]. 现代预防医学, 2017, (22): 55-59.
Yang XQ, Li YQ, Zou XL. Determination of four sweetener additives in food by ion-pair reversephase high performance liquid chromatography [J]. Mod Pre Med, 2017, (22): 55-59.
- [6] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
GB 2760-2014 National food safety standard-Food additive standard [S].

- [7] 王丽君, 蒋红进. 气相色谱法测定果汁中甜蜜素的定量方法改进[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(9): 1354-1356.
Wang LJ, Jiang HJ. Improve quantitative method in determination of sodium cyclamate in juice by gas chromatography [J]. Chin J Health Lab Technol, 2015, 25(9): 1354-1356.
- [8] 陈婵. 异甘草酸镁对甜蜜素诱导小鼠急性肝损伤的保护作用[D]. 衡阳: 南华大学, 2019.
Chen C. Protective effect of magnesium isoglycyrrhizinate on sodium cyclamate-induced acute liver injury in mice [D]. Hengyang: University of South China, 2019.
- [9] 王红雁, 刘亚青, 田璐, 等. 药物性肝损伤组学生物标志物新进展[J]. 中国新药与临床杂志, 2019, 38(1): 10-14.
Wang HY, Liu YQ, Tian L, *et al.* New progress in omics biomarkers of drug-induced liver injury [J]. Chin J New Drugs Clin Med, 2019, 38(1): 10-14.
- [10] Bopp BA, Senders RC, Kesterson JW. Toxicological aspects of cyclamate and cyclohexylamine [J]. Crit Rev Toxicol, 1986, 16(3): 213-306.
- [11] 王飞, 农云军, 窦文渊, 等. 含乳饮料中甜蜜素的测定及提取方法的改进[J]. 中国酿造, 2014, 33(7): 95-97.
Wang F, Nong YJ, Dou WY, *et al.* Determination of sodium cyclamate in milk beverage and extraction method improvement [J]. China Brew, 2014, 33(7): 95-97.
- [12] Chen ZH, Chen GY, Zhou K. Toxicity of food sweetener-sodium cyclamate on osteoblasts cells [J]. Biochem Biophys Res Commun, 2018, 508(2): 507-511.
- [13] Hu Y, Xie MY, Wu XY. Interaction studies of sodium cyclamate with DNA revealed by spectroscopy methods [J]. Spectrochim Acta Part A: Mol Biomol Spectrosc, 2019, 220: 117085.
- [14] Jackson CD, Baetcke KP. Causative agents in the induction of bladder cancer [J]. Ann Clin Lab Sci, 1976, 6(3): 223-232.
- [15] 包琴, 成晓琴, 张强. 气相色谱法测定馒头中甜蜜素[J]. 食品工程, 2017, (2): 50-53.
Bao Q, Cheng XQ, Zhang Q. Determination of sodium cyclamate in steamed bread by GC [J]. Food Eng, 2017, (2): 50-53.
- [16] 毛伟峰, 宋雁. 食品中常见甜味剂使用方面存在的主要问题及危害[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(6): 9-14.
Mao WF, Song Y. Major problems and hazards in use of sweeteners commonly found in foods [J]. J Food Sci Technol, 2018, 36(6): 9-14.
- [17] 王丽. 食品中五种常见防腐剂同时检测技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
Wang L. Study on the Simultaneous detection technique of five preservatives in foods [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2012.
- [18] 赖文婷, 梁咏瑜, 陈晓燕. 气相色谱法检测食品中甜蜜素的实验条件优化[J]. 食品安全导刊, 2017, (12): 66-67.
Lai WT, Liang YY, Chen XY. Optimization of experimental conditions for determination of sodium cyclamate in food by gas chromatography [J]. Chin Food Saf Magaz, 2017, (12): 66-67.
- [19] GB 5009.97-2016 食品安全国家标准-食品中环己基氨基磺酸钠的测定[S].
GB 5009.97-2016 National food safety standard-Determination of sodium cyclohexylaminosulfonate in food [S].
- [20] 赵小珍, 庞小刚, 张洪. 气相色谱法测定食品中甜蜜素的深入研究[J]. 食品工程, 2014, (4): 33-36.
Zhao XZ, Pang XG, Zhang H. Further research on determination of sodium cyclamate in food by gas chromatography [J]. Food Eng, 2014, (4): 33-36.
- [21] 曹慧, 孙喜凤. 甜蜜素在食品中的应用及检测[J]. 现代食品, 2018, (9): 96-98.
Cao H, Sun XF. The application and detection of sodium cyclamate in food [J]. Mod Food, 2018, (9): 96-98.
- [22] 袁河, 陈慧鹏, 夏延斌, 等. 气相色谱法测定槟榔中甜蜜素含量的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(1): 215-219.
Yuan H, Chen HP, Xia YB, *et al.* Uncertainty evaluation of sodium cyclamate content in *Areca catechu* L. by gas chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(1): 215-219.
- [23] 郭红云. 气相色谱法测定食品中甜蜜素准确性因素分析[J]. 食品安全导刊, 2016, (26): 74-75.
Guo HY. Analysis of accuracy factors for determination of sodium cyclamate in food by gas chromatography [J]. Chin Food Saf Magaz, 2016, (26): 74-75.
- [24] 王豆, 王一欣, 李涛, 等. 气相色谱法测定不同种类食品中甜蜜素的分析方法优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(11): 2606-2610.
Wang D, Wang YX, Li T, *et al.* Optimization of the determination sodium cyclamate in varieties of food by gas chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(11): 2606-2610.
- [25] 张志强, 张秀丰, 张玉娟, 等. 气相色谱法测定冰激淋中的甜蜜素[J]. 中国乳品工业, 2015, 43(1): 47-50.
Zhang ZQ, Zhang XF, Zhang YJ, *et al.* Determination of sodium cyclamate in ice cream by gas chromatography [J]. China Dairy Ind, 2015, 43(1): 47-50.
- [26] 刘本发, 聂巍巍, 刘宪军. 气相色谱法测定食品中甜蜜素前处理优化研究[J]. 食品安全导刊, 2018, (30): 179-181.
Liu BF, Nie WW, Liu XJ. Optimization of pretreatment for determination of sodium cyclamate in food by gas chromatography [J]. Chin Food Saf Magaz, 2018, (30): 179-181.
- [27] 姜薇, 王睿睿, 康鹏, 等. 优化气相色谱法测定食品中的甜蜜素[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(5): 1767-1770.
Jiang W, Wang XR, Kang P, *et al.* Optimization of gas chromatography for determination of sodium cyclamate in food [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(5): 1767-1770.
- [28] 王丽英, 任贝贝, 路杨, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定白酒中 9 种甜味剂[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(2): 154-159.
Wang LY, Ren BB, Lu Y, *et al.* Determination of 9 sweeteners in liquor by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Food Hyg, 2020, 32(2): 154-159.
- [29] 成祝, 刘洁, 冉琴, 等. 发酵食品中多种防腐剂检测方法的建立[J]. 中国酿造, 2020, 39(4): 190-193.
Cheng Z, Liu J, Ran Q, *et al.* Establishment of detection methods of preservatives in fermented foods [J]. China Brew, 2020, 39(4): 190-193.
- [30] 赵光升, 郭立净, 尹志威, 等. 超高效液相色谱-质谱/质谱法测定黄酒中的甜蜜素[J]. 中国卫生检验杂志, 2020, 30(1): 37-40.
Zhao GS, Guo LJ, Yin ZW, *et al.* Determination of sodium cyclamate in yellow rice wine by ultra performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Health Lab Technol, 2020, 30(1): 37-40.
- [31] 许彩霞, 吴斌彬, 杨希, 等. 液相色谱法测定食品中甜蜜素结果的不确

- 定度评定[J]. 福建分析测试, 2013, 22(1): 54–57.
- Xu CX, Wu BB, Yang X, *et al.* Evaluation of uncertainty for the determination results of sodium cyclamate in food by liquid chromatography [J]. Fujian Anal Test, 2013, 22(1): 54–57.
- [32] 闫吉昌, 马长海, 于明明, 等. 三种国标方法测定酒中甜蜜素的比较与方法改进[J]. 酿酒科技, 2019, (12): 54–59.
- Yan JC, Ma CH, Yu MM, *et al.* Comparison and improvement of three methods in national standards for the determination of sodium cyclamate in alcoholic drinks [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2019, (12): 54–59.
- [33] 方光伟, 何建仁, 陈忍, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射检测法同时测定食品中 9 种甜味剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(12): 243–248.
- Fang GW, He JR, Chen R, *et al.* Simultaneous determination of 9 kinds of sweeteners in food by high performance liquid chromatograph–evaporative light scattering detection [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(12): 243–248.
- [34] SN/T 1948–2007 进出口食品中环己基氨基磺酸钠的检测方法 液相色谱-质谱/质谱法[S].
- SN/T 1948–2007 Detection of sodium cyclamate in foods for import and export–HPLC-MS/MS method [S].
- [35] 陈海元, 王永健. 液相色谱-质谱/质谱联用技术在测定白酒中甜蜜素含量中的应用[J]. 现代食品, 2017, (21): 121–123.
- Chen HY, Wang YJ. Application of liquid chromatography–mass spectrometry/mass spectrometry in determination of sweetness content in liquor [J]. Mod Food, 2017, (21): 121–123.
- [36] 邹孝, 李根容, 黄武平, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定调味料酒中 4 种人工合成甜味剂[J]. 中国调味品, 2017, 42(10): 147–149, 159.
- Zou X, Li GR Huang WP, *et al.* Determination of four artificial sweeteners in seasoning wine by HPLC-MS/MS [J]. China Cond, 2017, 42(10): 147–149, 159.
- [37] 张福, 张周莉, 李垚辛. 高效液相色谱串联质谱法测定白酒中甜蜜素的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(6): 1639–1643.
- Zhang F, Zhang ZL, Li YX. Determination of sodium cyclamate content in liquor by high performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(6): 1639–1643.
- [38] Daimon T, Saito K, Takahashi K, *et al.* Validation study of rapid analytical method for determination of cyclamate in various kinds of foods by LC–MS/MS [J]. J Food Hyg Soc Japan, 2019, 60(3): 68–72.
- [39] 王凯, 邱宇, 王亮亮, 等. 液相色谱-串联质谱法测定白酒中甜蜜素的不确定度评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(6): 1449–1454.
- Wang K, Qiu Y, Wang LL. Uncertainty evaluation of the determination of sodium cyclamate in liquor by liquid chromatography–tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(6): 1449–1454.
- [40] 尹华. 高效液相色谱-串联质谱法测定饮料中 6 种食品添加剂[J]. 卫生研究, 2017, 46(6): 971–974, 980.
- Yin H. Simultaneous determination of 6 kinds of food additives in drink by HPLC–MS/MS [J]. J Hyg Res, 2017, 46(6): 971–974, 980.
- [41] 刘益锋, 李蓉, 张朋杰, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定焙烤食品中 9 种水溶性添加剂的研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(2): 137–141.
- Liu YF, Li R, Zhang PJ, *et al.* Simultaneous determination of nine water–soluble food additives in bakery products by UHPLC–MS [J]. China Food Addit, 2019, 30(2): 137–141.
- [42] Shah R, Farris S, Jager LSD, *et al.* A novel method for the simultaneous determination of 14 sweeteners of regulatory interest using UHPLC–MS/MS [J]. Food Addit Contam A, 2014, 32(2): 141–151.
- [43] Kubica P, Namie NJ, Wasik A. Determination of eight artificial sweeteners and common *Stevia* rebaudianglycosides in non–alcoholic and alcoholic beverages by reversed–phase liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry [J]. Anal Bioanal Chem, 2015, 407(5): 1505–1512.
- [44] 史立学. 离子色谱检测食品中的吊白块、氢氰酸和甜蜜素的方法研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- Shi LX. Study on the method of ion chromatography for detecting dangbai cube, hydrocyanic acid and sodium cyclamate in food [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013.
- [45] 石敏, 刘斐, 魏功, 等. 利用离子色谱仪进行白酒中甜蜜素的检测方法的研究[J]. 酿酒, 2014, 41(6): 108–110.
- Shi M, Liu F, Wei G, *et al.* Research the determination method of sodium cyclamate in liquor by ion chromatography [J]. Liquor Mak, 2014, 41(6): 108–110.
- [46] 辛若竹, 康鑫琦. 离子色谱法测定食品中甜蜜素含量的研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(10): 92–98.
- Xin RZ, Kang XQ. Study on determination of the content of sodium cyclamate in food by ion chromatography [J]. China Cond, 2015, 40(10): 92–98.
- [47] 李红艳. 白酒中甜蜜素的无衍生离子色谱法检测[J]. 分析测试学报, 2010, (8): 105–109.
- Li HY. Determination of sodium cyclamate in distillate spirits by non–derivatized on chromatography [J]. J Instrum Anal, 2010, (8): 105–109.
- [48] Kaufmann A, Widmer M, Maden K, *et al.* Analysis of a variety of inorganic and organic additives in food products by ion–pairing liquid chromatography coupled to high–resolution mass spectrometry [J]. Anal Bioanal Chem, 2018, 410(22): 5629–5640.
- [49] 朱怀远, 庄亚东, 熊晓敏, 等. 离子色谱法直接测定食品添加剂中的甜蜜素[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 173–176.
- Zhu HY, Zhuang YD, Xiong XM, *et al.* Direct determination of sodium cyclamate in food additives by ion chromatography [J]. Food Sci, 2012, 33(2): 173–176.
- [50] 方乐轩, 冯嘉骏, 莫浩斌. 离子色谱法和气相色谱法在测定甜蜜素时的对比[J]. 食品安全导刊, 2017, (15): 74–75.
- Fang LX, Feng JJ, Mo HB. Comparison of ion chromatography and gas chromatography in the determination of cyclamate [J]. China Food Saf Magaz, 2017, (15): 74–75.
- [51] 仓国强, 陆勤, 成冲, 等. 离子色谱法和气相色谱法测定甜蜜素的对比研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(9): 2338–2339.
- Cang GQ, Lu Q, Cheng C, *et al.* Comparative study of ion chromatography and gas chromatography in determination of sodium [J]. Chin J Health Lab Technol, 2011, 21(9): 2338–2339.
- [52] 闫吉昌, 于明明, 马长海, 等. 透析法样品前处理-离子色谱法测定复杂基质食品中甜蜜素含量[J]. 中国标准化, 2018, (16): 178–179, 182.
- Yan JC, Yu MM, Ma CH, *et al.* Determination of sodium cyclamate in complex matrix foods by dialysis sample pretreatment–ion chromatography [J]. China Stand, 2018, (16): 178–179, 182.
- [53] 张美娜. 分光光度法在食品添加剂测定中的应用[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(9): 54–56.
- Zhang MN. Application of spectrophotometry in the determination of food

- additives [J]. Grain Sci Technol Econ, 2018, 43(9): 54-56.
- [54] 王秀玲, 叶升锋, 桑华春. 食品中甜蜜素的快速测定[J]. 食品研究与开发, 2015, (7): 98-99.
- Wang XL, Ye SF, Sang HC. Rapid detection of sodium cyclamate in foods [J]. Food Res Dev, 2015, (7): 98-99.
- [55] 陈少波, 潘超华. 食品中甜蜜素的紫外分光光度法测定[J]. 分析测试学报, 2000, 19(3): 82-83.
- Chen SB, Fan CH. 食品中甜蜜素的紫外分光光度法测定[J]. J Instrum Anal, 2000, 19(3): 82-83.
- [56] 李巧玲, 原现瑞, 刘景艳. 紫外-可见分光光度法在食品分析中的应用进展[J]. 食品工程, 2006, (1): 49-51, 55.
- Li QL, Yuan XR, Liu JY. Application progress of ultraviolet-visible spectrophotometry in food analysis [J]. Food Eng, 2006, (1): 49-51, 55.
- [57] 吕晓英. 浊度计检测方法的研究[J]. 化工设计通讯, 2016, 42(4): 231, 233.
- Lv XY. Study on the detection method of turbidity meter [J]. Chem Eng Design Commun, 2016, 42(4): 231, 233.
- [58] 罗贤英. 目视比色法测定碳酸饮料中甜蜜素含量[J]. 监督与选择, 2007, (9): 24.
- Luo XY. Determination of sodium cyclamate in carbonated beverages by visual colorimetry [J]. Superv Choice, 2007, (9): 24.
- [59] 曾光远, 李炜. 浊度仪可测定甜蜜素含量[J]. 监督与选择, 2008, (5): 61-62.
- Zeng GW, Li W. Turbidity meter can determine the content of cyclamate [J]. Superv Choice, 2008, (5): 61-62.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



莫益倩, 助理工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 892420128@qq.com