

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241015006

引用格式: 辛若竹. 液相色谱-串联质谱法测定酒类饮品中爱德万甜含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(1): 314-320.

XIN RZ. Determination of advantame in alcoholic beverages by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(1): 314-320. (in Chinese with English abstract).

液相色谱-串联质谱法测定酒类饮品中 爱德万甜含量

辛若竹*

(梅河口市食品药品检验检测中心, 梅河口 135000)

摘要: 目的 建立一种液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)检测酒类饮品中爱德万甜的高灵敏度分析方法。**方法** 酒样通过超纯水进行 10 倍稀释后过膜进样, 使用 Kinetex® Biphenyl 100 Å 色谱柱(100 mm×3.0 mm, 2.6 μm), 以水和甲醇为流动相梯度洗脱分离, 采用电喷雾离子源(electrospray ionization, ESI), 在正离子扫描多反应监测(multiple reaction monitoring, +MRM)模式下检测, 外标法定量。**结果** 爱德万甜在 0.03~40.00 μg/L 质量浓度范围内呈现出优良的线性关系, 相关系数达 0.9999, 检出限为 0.10 μg/kg, 定量限为 0.30 μg/kg, 在低、中低、中高、高 4 个不同浓度加标水平下的平均回收率为 80.8%~109.8%, 相对标准偏差为 2.7%~12.5% (n=6)。**结论** 该方法检测灵敏度高, 操作简单, 准确可靠, 可用于酒类饮品中爱德万甜的痕量分析及风险评估, 为科学监管酒类市场提供有力的技术支撑。

关键词: 爱德万甜; 酒类饮品; 高灵敏度; 液相色谱-串联质谱法

Determination of advantame in alcoholic beverages by liquid chromatography-tandem mass spectrometry

XIN Ruo-Zhu*

(Meihekou Center for Food and Drug Control, Meihekou 135000, China)

ABSTRACT: Objective To establish a highly sensitive analytical method for the determination of advantame in alcoholic beverages by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). **Methods** The wine samples were diluted 10 times with ultrapure water, filtered through a membrane, and then injected. A Kinetex® Biphenyl 100 Å chromatographic column (100 mm×3.0 mm, 2.6 μm) was used, with water and methanol as the mobile phase for gradient elution and separation. An electrospray ionization source (ESI) was adopted for detection in the positive ion scan multiple reaction monitoring (+MRM) mode, and external standard method was used for quantification. **Results** Advantame exhibited an excellent linear relationship within the mass concentration range of 0.03 to 40.00 μg/L, with a correlation coefficient of 0.9999. The limit of detection was 0.10 μg/kg, the limit of

收稿日期: 2024-10-15

第一作者/*通信作者: 辛若竹(1969—), 女, 正高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测与分析。E-mail: 949048490@qq.com

quantification was 0.30 $\mu\text{g/kg}$. The average recoveries at the 4 different spiked levels of low, medium-low, medium-high and high were 80.8% to 109.8%, and the relative standard deviation was 2.7% to 12.5% ($n=6$).

Conclusion This method has high detection sensitivity, is simple to operate, accurate and reliable, and can be used for the trace analysis and risk assessment of advantame in alcoholic foods, providing strong technical support for scientific supervision of the alcoholic beverage market.

KEY WORDS: advantame; alcoholic beverages; high sensitivity; liquid chromatography-tandem mass spectrometry

0 引言

酒类食品作为传统饮品,其陈酿过程对提升口感和芳香至关重要。然而,部分不法商贩为了缩短陈酿时间,可能违规添加甜味剂以掩盖生酒的苦涩和青涩味道,以此改善口感,降低成本^[1]。尤其目前爱德万甜尚未被纳入国家食品安全监督抽检的日常检测项目范畴^[2],这给不法企业留下了可乘之机。这种行为不仅损害了消费者的合法权益,还可能带来潜在的健康风险^[3-5],加大了酒类饮品的监管难度^[6]。爱得万甜作为一种新型的超高甜度二肽甜味剂,其甜度约为蔗糖的 20000 倍、阿斯巴甜的 100 倍,是当前食品领域中甜度最高的甜味剂^[7-9]。依据 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》,爱德万甜作为新品种食品甜味剂,虽然被允许在发酵乳、冷冻饮品、复合调味料、饮料等多种食品中使用,并明确规定了使用限量,但酒类饮品不在其允许使用的范围之内。由于爱德万甜甜度极高,添加量极其微小,远低于糖精钠、甜蜜素、安赛蜜、阿斯巴甜、三氯蔗糖等甜味剂,因此,建立高灵敏度的爱德万甜检测方法对于确保酒类的质量与安全显得尤为必要。

目前,我国尚未制定食品中爱德万甜测定的国家标准检验方法,仅出台了 BJS 202201《食品补充检验方法 食品中爱德万甜的测定》,相关文献报道数量也有限,主要包括液相色谱法(liquid chromatography, LC)^[10-15]和液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)^[16-21]。其中,LC 检测灵敏度相对较低,LC-MS/MS 的方法检出限一般在 0.5 $\mu\text{g/kg}$ 至 30 $\mu\text{g/kg}$ 之间,方法定量限在 1.5 $\mu\text{g/kg}$ 至 100 $\mu\text{g/kg}$ 范围^[22-27],主要应用于国家允许使用且规定使用限量的饮料、发酵乳、复合调味料、水果罐头、果冻、蜜饯、糖果等相应食品类别的检测^[23-24,27-28],而针对不允许添加爱德万甜的酒类饮品的检验报道较少^[29-32]。本研究拟以白酒、葡萄酒、黄酒、果露酒为例,通过优化色谱、质谱条件以及样品前处理方法,建立 LC-MS/MS 测定酒类饮品中爱德万甜的含量,以期为爱德万甜在酒类饮品中的痕量分析及风险评估提供参考依据,为科学监管酒类市场提供有力的技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

酒类饮品 10 种:白酒、葡萄酒各 3 种,黄酒、果露酒各 2 种,购于梅河口市超市。

爱德万甜标准溶液(质量浓度为 800 $\mu\text{g/mL}$,北京坛墨质检标准物质中心);甲醇、乙腈、甲酸(色谱纯,美国 Fisher 公司)。

1.2 仪器与设备

API4000+型液相色谱-串联质谱仪[配电喷雾离子源(electrospray ionization, ESI),美国 AB SCIEX 公司]; PL203 型电子分析天平(精度 1 mg,上海梅特勒-托利多仪器有限公司); WP-UP-YJ-40 型超纯水机(四川沃特水处理设备有限公司); Kinetex®Biphenyl 100 Å 色谱柱(100 mm×3.0 mm, 2.6 μm ,美国 Phenomenex 公司); 0.2 μm 微孔滤膜(美国 Pall 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 标准溶液配制

精确吸取爱德万甜标准溶液(800 $\mu\text{g/mL}$) 0.125 mL 至 100 mL 容量瓶中,用 50%甲醇溶液(包含 0.1%甲酸)对其进行稀释并定容至刻度,配制成质量浓度为 1 $\mu\text{g/mL}$ 的中间标准溶液。使用时,再用 50%甲醇溶液(含 0.1%甲酸)逐级稀释中间标准溶液,配制成质量浓度分别为 0.03、0.05、0.10、0.50、1.00、5.00、10.00、20.00、40.00 $\mu\text{g/L}$ 的系列标准工作溶液以及用于优化仪器参数的质量浓度为 240 $\mu\text{g/L}$ 的标准使用溶液。

1.3.2 加标酒样制备

分别称取 1 g 空白酒样(精确至 0.001 g)置于 8 个 10 mL 容量瓶中,分别加入 10 $\mu\text{g/L}$ 标准使用液 30、50、100 μL , 100 $\mu\text{g/L}$ 标准使用液 30、50、100 μL 及 1000 $\mu\text{g/L}$ 中间标准液 50 μL 、200 μL ,充分混匀并静置 1 h,制备的加标酒样浓度分别为 0.30、0.50、1.00、3.00、5.00、10.0、50.0、200.0 $\mu\text{g/kg}$ 。

1.3.3 样品前处理

称取 1 g 酒样(精确至 0.001 g)置于 10 mL 容量瓶中,用超纯水将其定容至刻度,充分混匀,经过 0.2 μm 微孔滤膜后进行上机测定。

1.3.4 液相色谱条件

色谱柱为 Kinetex®Biphenyl 100 Å 色谱柱(100 mm×3.0 mm, 2.6 μm); 流动相 A 相为水, B 相为甲醇, 梯度洗脱程序: 0~3.0 min, 25% B; 3.0~6.0 min, 25%~90% B; 6.0~7.0 min, 90% B; 7.0~7.1 min, 90%~25% B; 7.1~10.0 min, 25% B; 设定柱温 40 °C, 进样体积 5 μL, 流速 0.4 mL/min。

1.3.5 质谱条件

ESI 离子源采用正离子扫描模式; 多反应监测 (multiple reaction monitoring, MRM)模式; 电喷雾电压为 5500 V; 离子源温度为 550 °C; 雾化气压力为 379 kPa; 辅助气压力为 414 kPa; 气帘气压力为 207 kPa; 碰撞气为 7 mL/min。监测离子对、去簇电压和碰撞气能量等质谱参数详见表 1。

表 1 监测离子对等质谱参数
Table 1 Monitor the mass spectrometry parameters of ionic equivalents

化合物	保留时间/min	母离子(m/z)	子离子(m/z)	驻留时间/ms	去簇电压/V	碰撞能量/eV
爱德万甜	6.95	459.2	102.1 [*]	100.0	80	37
			84.2	100.0	80	54
			252.4	100.0	80	27

注: *为定量离子。

1.4 数据处理

采用 SCIEX 的 Analyst®1.6.3 Software 软件采集数据, MultiQuant 3.0.2 软件外标法定量分析; 使用 Excel 2010 进行数据统计分析, Origin 64 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 质谱条件优化

由于爱德万甜的分子结构式中同时具备-COOH 与 -NH-基团, 在质谱分析中, 正、负离子扫描均存在产生响应值的可能性。查考文献, 部分研究选择正离子检测扫描模式^[16-18], 部分研究选择负离子检测扫描模式^[30-32]。故而, 针泵进样 240 μg/L 的爱德万甜标准使用溶液, 分别进行正离子模式扫描[M+H]⁺离子与负离子模式扫描[M-H]⁻离子, 其结果表明, 正离子模式扫描[M+H]⁺ m/z 459.2 离子的响应值远远高于负离子模式扫描[M-H]⁻ m/z 457.2 离子的响应值, 因此选择正离子方式扫描[M+H]⁺ m/z 459.2 离子为母离子。在确定扫描模式和母离子后, 调整碰撞能量碰碎母离子 m/z 459.2, 获得二级质谱信息(见图 1)。选取主要的子离子 m/z 102.1、m/z 84.2、m/z 252.4、m/z 192.2 构建+MRM

监测离子对, 对去簇电压和碰撞气能量等质谱参数进行优化, 并且进样分析 1.0 μg/L 标准工作溶液, 用以验证所选取的离子对的响应值与稳定性。最终确定响应值高且稳定的子离子 m/z 102.1 作为定量离子, 响应值居次的子离子 m/z 84.2 作为定性离子, m/z 252.4 设为辅助定性离子。详细的质谱参数见表 1, 爱德万甜标准工作溶液的+MRM 色谱图见图 2。

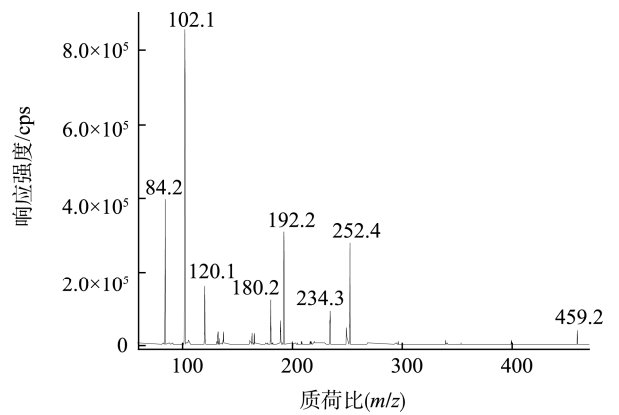


图 1 爱德万甜子离子扫描图
Fig. 1 Product ion scan spectrum of advantame

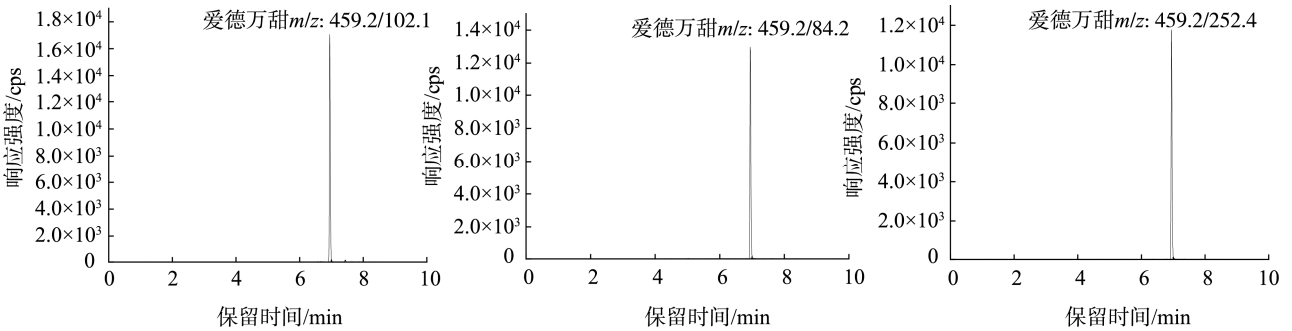


图 2 爱德万甜标准溶液的 MRM 色谱图(1.0 μg/L)
Fig.2 MRM chromatograms of advantame standard solutions (1.0 μg/L)

2.2 色谱条件选择

因为是正离子扫描, 结合参考文献[22–23], 首先选择以 A 相为 0.1%甲酸水和 B 相为 0.1%甲酸甲醇为流动相, 按如下梯度洗脱程序: 0~1.0 min, 3% B; 1.0~1.1 min, 3%~15% B; 1.1~5.0 min, 15%~40% B; 5.0~5.1 min, 40%~95% B; 5.1~7.0 min, 95% B; 7.0~7.1 min, 95%~3% B; 7.1~10.0 min, 3% B, 进样分析 240 $\mu\text{g/L}$ 爱德万甜标准使用溶液, 结果发现爱德万甜的色谱峰分叉严重。根据爱德万甜在色谱柱上有强保留的特性, 优化梯度洗脱程序为: 0~3.0 min, 25% B; 3.0~6.0 min, 25%~90% B; 6.0~7.0 min, 90% B; 7.0~7.1 min, 90%~25% B; 7.1~10 min, 25% B 时, 结果发现, 爱德万甜的色谱峰型变得很好, 峰型对称且响应值较强。

在确定流动相梯度洗脱程序后, 参考 BJS 202201 和参考文献[24]均以水-乙腈为流动相, 又分别比较了 0.1%甲酸水-0.1%甲酸甲醇、水-甲醇、水-乙腈 3 种流动相对爱德万甜色谱峰响应值的影响, 结果发现, 以水-甲醇为流动相, 爱德万甜峰型好且响应值最高; 以水-乙腈为流动相响应值次之, 且峰型略有拖尾。相比之下, 流动相为水-甲醇的响应值是流动相为 0.1%甲酸水-0.1%甲酸甲醇的响应值的 2.3 倍, 是流动相为水-乙腈的响应值的 1.6 倍(见图 3), 故而, 选定以水-甲醇作为流动相, 用以提高检测的灵敏度。

通常理论上, 酸性流动相(如甲酸水)能提高质谱正离子模式的灵敏度。然而, 爱得万甜的情况正好相反, 这可能是因为爱得万甜自身的化学性质导致其离子化行为与一般化合物不同, 可能是因为, 引入的甲酸可能会抑制爱得万甜的离子化或可能与爱得万甜竞争离子化, 导致其离子化程度降低; 在酸性条件下, 爱得万甜可能会发生解离, 形成带负电荷的离子, 从而导致响应值降低。这与 BJS 202201 和参考文献[24]均不选择酸性流动相的结果一致。

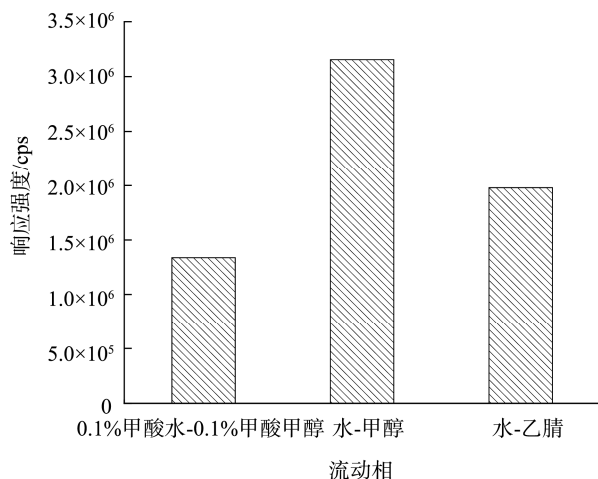


图3 不同流动相对爱德万甜响应值的影响

Fig.3 Effects of different flowing phases on the response values of advantame

2.3 样品处理方法选择

目前, 爱德万甜的前处理方法通常采用乙腈溶液或甲醇溶液进行提取^[25–26], 经或不经固相萃取净化的操作方式^[27–28]; 另外, 针对白酒样品, 往往需要在水浴中蒸除乙醇来完成样品前处理^[29–30]。本研究鉴于爱德万甜易溶于水, 且酒类饮品的主要成分为水和乙醇, 其样品基质复杂程度相对较低这一特点, 选择直接用水 10 倍稀释酒样后过膜进样的前处理方法, 省去了用甲醇或乙腈等有机溶液提取与固相萃取净化的烦琐操作, 具有绿色环保的优点。同时, 由于爱德万甜在色谱柱上具有强保留的特性, 10 倍稀释后的酒样中乙醇含量不会引发溶剂效应, 还能够省去蒸除酒样中乙醇的费时操作, 让样品处理变得更为简便快捷。并通过在白酒和葡萄酒中进行加标回收验证(加标浓度 400 $\mu\text{g/kg}$), 回收率处于 99.9%~108.5%, 所得结果较为理想。

2.4 基质效应

为考查基质效应, 选取酒类饮品中样品基质相对复杂且有代表性的白酒和葡萄酒样品, 依照 1.3.3 所规定的样品前处理方法, 分别制备白酒和葡萄酒样品的空白基质样液。用白酒、葡萄酒基质样液分别配制爱德万甜的基质标准溶液, 并与溶剂标准系列工作液相同的条件下进行测定。采用溶剂标准曲线分别计算出白酒和葡萄酒基质标准溶液的实测值, 将实测值与理论值的百分比作为评估基质效应的依据。当基质效应处于 85%至 115%的区间内, 表明基质效应不显著, 可忽略基质的影响^[33]。由表 2 可知, 白酒和葡萄酒样品的平均基质效应为 93.2%~95.0%, 说明酒类样品的基质效应相对较小, 能够直接采用溶剂标准曲线进行定量, 令方法操作更为简便。

2.5 线性范围、检出限及定量限

按优化的色谱质谱条件测定标准工作溶液系列, 以爱德万甜的峰面积为纵坐标(Y), 以其质量浓度为横坐标(X, $\mu\text{g/L}$), 绘制出外标-校准工作曲线。结果显示(表 3), 爱德万甜在 0.03~40.00 $\mu\text{g/L}$ 的质量浓度范围内呈现出优良的线性关系, 相关系数达 0.9999。分别于空白的白酒、葡萄酒中添加低质量浓度的爱德万甜标准溶液制成加标样品。依照优化的方法进行测定, 并计算信噪比。把 3 倍信噪比($S/N=3$)时对应的加标量当作检出限; 以 10 倍信噪比($S/N=10$)时对应的加标量当作定量限。而且, 检出限的检出概率以及定量限的正确度与精密度均符合 GB 5009.295—2023《食品安全国家标准 化学分析方法验证通则》的相关要求。由表 3 可知, 爱德万甜的方法检出限为 0.10 $\mu\text{g/kg}$, 定量限为 0.30 $\mu\text{g/kg}$, 远优于 BJS 202201 的方法检出限 3.0 $\mu\text{g/kg}$ 和定量限 10.0 $\mu\text{g/kg}$ 以及目前已有文献报道的方法最低检出限 0.5 $\mu\text{g/kg}$ 和定量限 1.5 $\mu\text{g/kg}$ ^[24], 说明本方法的检测灵敏度更高, 适用于酒

类饮品中爱德万甜的痕量分析。

2.6 回收率与精密度

在空白的白酒、葡萄酒、黄酒、果露酒中分别按低、中低、中高、高 4 个浓度水平添加标准溶液制备加标样品。每个浓度水平各制备了 6 份平行样品，进行回收率和精密

度试验，同时计算回收率和相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。由表 4 可知，白酒、葡萄酒、黄酒、果露酒中爱德万甜的回收率在 80.8%~109.8%范围，RSDs 在 2.7%~12.5%之间，均满足 GB 5009.295—2023 中的相关要求，表明此方法具有准确性、稳定性以及可靠性。

表 2 基质效应结果(%)
Table 2 Results of matrix effect (%)

样品基质	0.05 μg/L 基质效应	0.10 μg/L 基质效应	0.50 μg/L 基质效应	1.00 μg/L 基质效应	5.00 μg/L 基质效应	20.00 μg/L 基质效应	平均 基质效应
白酒	94.8	87.9	90.8	89.1	99.2	97.7	93.2
葡萄酒	91.6	85.6	88.5	92.9	105.0	106.2	95.0

表 3 线性参数、检出限和定量限
Table 3 Linearity parameters, limit of detection, and limit of quantitative

化合物	线性方程	相关系数(r)	线性范围/(μg/L)	检出限/(μg/kg)	定量限/(μg/kg)
爱德万甜	$Y=3.16289 \times 10^4 X + 465.87604$	0.9999	0.03~40.00	0.10	0.30

表 4 回收率和精密度测定结果(n=6)
Table 4 Determination results of recovery and precision (n=6)

样品 基质	低加标水平			中低加标水平			中高加标水平			高加标水平		
	加标量 /(μg/kg)	回收率 /%	RSDs /%	加标量 /(μg/kg)	回收率 /%	RSDs /%	加标量 /(μg/kg)	回收率 /%	RSDs /%	加标量 /(μg/kg)	回收率 /%	RSDs /%
白酒	0.30	90.9	12.5	1.00	81.5	5.0	5.00	88.7	4.4	50.0	104.7	6.4
葡萄酒	0.30	80.8	9.5	1.00	84.2	5.3	5.00	90.8	4.6	50.0	109.2	4.8
黄酒	0.50	88.9	6.1	3.00	87.3	5.6	10.0	99.6	6.0	200.0	109.8	2.7
果露酒	0.50	91.2	8.4	3.00	82.3	7.7	10.0	96.5	6.2	200.0	106.0	5.5

2.7 实际样品检测

采用本研究所建立的方法对市售常见的 10 种酒类饮品进行了检测，其中白酒和葡萄酒各 3 种，黄酒和果露酒各 2 种。结果显示 10 种酒类饮品中均未检测出爱德万甜，满足 GB 2760—2024 要求。

3 结论

本研究通过优化色谱、质谱条件以及样品前处理方法，建立了 LC-MS/MS 测定酒类饮品中爱德万甜的高灵敏度分析方法。该方法采用水和甲醇为流动相进行梯度洗脱，在+MRM 模式下，选用最优的去簇电压和碰撞能量等质谱参数，大幅度提升了方法的灵敏度，满足痕量分析的需求；前处理方法选择直接用水 10 倍稀释酒样的进样方式，省去了用有机溶液提取与净化以及水浴旋蒸去除乙醇的烦琐操作，使样品处理变得更为简单快捷。该方法的检出限达 0.10 μg/kg，定量限为 0.30 μg/kg，平均回收率为 80.8%~109.8%，RSDs 为 2.7%~12.5%，满足 GB 5009.295—2023 的相关要求，具有灵敏度高、操作简便、准确可靠等

优点，可应用于酒类饮品中爱德万甜的痕量分析以及风险评估工作。

参考文献

[1] 刘议慧, 唐善虎, 成桂红, 等. 白酒中爱德万甜及其他甜味剂的检测方法研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(11): 172–175.
LIU YH, TANG SH, CHENG GH, *et al.* Detection method of advantame and other sweeteners in Baijiu [J]. China Brewing, 2018, 37(11): 172–175.

[2] 国家市场监督管理总局. 全国食品安全监督抽检实施细则(2024 年版) [EB/OL]. (2024-01-25) [2024-07-20]. <http://www.edj.gov.cn/ztzl/zt/spyp/202403/P020240306369316041225.pdf>
State Administration for Market Regulation. Implementation rules for national food safety supervision and sampling inspection (2024 version) [EB/OL]. (2024-03-06) [2024-07-20]. <http://www.edj.gov.cn/ztzl/zt/spyp/202403/P020240306369316041225.pdf>

[3] ZHANG JY, ZHANG JB, YU HY, *et al.* Theoretical risk assessment of dietary exposure to advantame among the Chinese population [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2019, 32(12): 930–933.

[4] PAVANELLO S, MORETTO A, LA VECCHIA C, *et al.* Non-sugar

- sweeteners and cancer: Toxicological and epidemiological evidence [J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2023, 139: 105369.
- [5] RUIZ-OJEDA FJ, PLAZA-DÍAZ J, SÁEZ-LARA MJ, *et al.* Effects of sweeteners on the gut microbiota: A review of experimental studies and clinical trials [J]. *Advances in Nutrition* (Bethesda, Md.), 2019, 10(suppl1): S31–S48.
- [6] 贾蕊. 料酒中爱德万甜及其他甜味剂检测方法分析及安全管制[J]. *中国调味品*, 2020, 45(6): 194–197.
- JIA R. Analysis of the detection method and safety control of advantame and other sweeteners in cookong wine [J]. *China Condiment*, 2020, 45(6): 194–197.
- [7] 方聪, 刘怡雪, 黎四芳. 新型超高甜度二肽甜味剂爱德万甜的研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2021, 32(2): 128–136.
- FANG C, LIU YX, LI SF. Research progress in new ultra-high potency dipeptide sweetener advantame [J]. *China Food Additives*, 2021, 32(2): 128–136.
- [8] FARAG MA, REZK MM, HAMDI EM, *et al.* An updated multifaceted overview of sweet proteins and dipeptides as sugar substitutes; the chemistry, health benefits, gut interactions, and safety [J]. *Food Research International*, 2022, 162(PA): 111853.
- [9] SERVANT G, KENAKIN T. A pharmacological perspective on the temporal properties of sweeteners [J]. *Pharmacological Research*, 2024, 204: 107211.
- [10] 钟菲菲, 雷德卿, 周金沙, 等. 高效液相色谱法检测药品糖浆剂中 4 种人工合成甜味剂[J]. *食品与机械*, 2022, 38(7): 75–79.
- ZHONG FF, LEI DQ, ZHOU JS, *et al.* Determination of four kinds of illegally-added artificial sweeteners in syrups by high performance liquid chromatography [J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(7): 75–79.
- [11] 淳泽利, 谷莹莹, 陈荣祥. 超高效液相色谱-电化学检测法测定饮料中爱德万甜和 5 种二氢查耳酮类甜味剂的含量[J]. *理化检验(化学分册)*, 2022, 58(6): 670–676.
- CHUN ZL, GU YY, CHEN RX. Determination of advantame and 5 sweeteners of dihydrochalcones in drink by ultra performance liquid chromatography with electrochemical detection [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis* (Part B: Chemical Analysis), 2022, 58(6): 670–676.
- [12] 叶智莲, 杨文武, 况利平. HPLC-ELSD 法同时测定电子烟烟液中的 10 种甜味剂[J]. *云南化工*, 2024, 51(3): 86–90.
- YE ZL, YANG WW, KUAGN LP. Determination of 10 sweeteners in E-cigarette liquid by HPLC-ELSD [J]. *Yunnan Chemical Technology*, 2024, 51(3): 86–90.
- [13] 冷泽山, 郭洪梅, 蔡丽青, 等. 高效液相色谱-电雾式检测器法同时检测食品中 8 种人工甜味剂的应用[J]. *应用化学*, 2023, 40(3): 436–440.
- LENG ZS, GUO HM, CAI HQ, *et al.* Research on simultaneous determination of eight artificial sweeteners in food by high performance liquid chromatography with charged aerosol detector [J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2023, 40(3): 436–440.
- [14] 刘芸, 刘红, 李志全. 超高效液相色谱法测定饮料中的 25 种常见和新型食品添加剂[J]. *理化检验(化学分册)*, 2021, 57(11): 1017–1021.
- LIU Y, LIU H, LI ZQ. Determination of 25 common and new food additives in beverages by ultra performance liquid chromatography [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis* (Part B: Chemical Analysis), 2021, 57(11): 1017–1021.
- [15] 吴芳华, 林清荷, 吴忠兴, 等. 高效液相色谱-二极管阵列法检测复杂食品基质中爱德万甜含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(19): 5100–5104.
- WU FH, LIN QH, WU ZX, *et al.* Determination of advantame in complex food substrates by high performance liquid chromatography [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2018, 9(19): 5100–5104.
- [16] 虞成华, 陆志芸, 冷桃花, 等. 液相色谱-串联质谱法测定发酵乳中爱德万甜的含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(14): 3638–3642.
- YU CH, LU ZY, LENG TH, *et al.* Determination of advantame in fermented milk by liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2018, 9(14): 3638–3642.
- [17] 廖燕芝, 秦海蛟, 龚琴, 等. 食品中爱德万甜检测方法比较研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2019, 31(1): 53–58.
- LIAO YZ, QIN HJ, GONG Q, *et al.* Study on the determination of advantame in food [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2019, 31(1): 53–58.
- [18] IWAKOSHI K, TAHARA S, UEMATSU Y, *et al.* Development of a highly sensitive liquid chromatography with tandem mass spectrometry method for the qualitative and quantitative analysis of high-intensity sweeteners in processed foods [J]. *Journal of Chromatography A*, 2019, 1592: 64–70.
- [19] NICOLUCI ÍG, DA-SILVA BS, BRAGA PADEC, *et al.* Simultaneous determination of nine high-intensity sweeteners in liquid and powder tabletop sweeteners [J]. *Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 2023, 40(10): 1–9.
- [20] WANG MZ, LING L, WANG SY, *et al.* A homogeneous binary matrix assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry assay for determination of artificial sweeteners in beverages [J]. *Food Chemistry*, 2024, 460(Pt2): 140597.
- [21] KOKOTOU MG, THOMAIDIS NS. Characterization of the retention of artificial sweeteners by hydrophilic interaction liquid chromatography [J]. *Analytical Letters*, 2018, 51(1-2): 49–72.
- [22] 张小刚, 王霞, 王卫东, 等. QuEChERS 净化-超高效液相色谱-串联质谱法测定复合调味料中的爱德万甜含量[J]. *理化检验(化学分册)*, 2019, 55(9): 1023–1027.
- ZHANG XG, WAGN X, WANG WD, *et al.* UHPLC-MS/MS determination of advantame in compound seasoning with purification by QuEChERS [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis* (Part B: Chemical Analysis), 2019, 55(9): 1023–1027.
- [23] 廖燕芝, 秦海蛟, 徐文泱, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法检测食品中爱德万甜[J]. *中国食品添加剂*, 2018(9): 198–201.
- LIAO YZ, QIN HJ, XU WY, *et al.* Determination of advantame in food by LC-MS/MS [J]. *China Food Additives*, 2018(9): 198–201.

- [24] 曲宝成, 戴学东, 姜俊, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定食品中新型添加剂爱德万甜[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(19): 5123–5128.
- QU BC, DAI XD, JIANG J, *et al.* Determination of advantame in food by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(19): 5123–5128.
- [25] 刘红, 王林, 胡博, 等. 超高效液相色谱-串联质谱快速测定饮料中 2 种生物碱和 6 种甜味剂[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(17): 247–251.
- LIU H, WANG L, HU B, *et al.* Determination of two alkaloids and six sweetening agents in beverages by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(17): 247–251.
- [26] 汪辉, 李晰晖, 胡丽俐, 等. 固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法测定果汁饮料中的新品种甜味剂爱德万甜[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 341–345.
- WANG H, LI XH, HU LL, *et al.* Determination of new sweetener advantame in beverages by solid phase extraction-ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (SPE-UPLC-MS/MS) [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(11): 341–345.
- [27] 汪辉, 黄小贝, 刘江, 等. 超高效液相色谱-串联质谱快速测定食品中的新品种甜味剂爱德万甜[J]. 色谱, 2018, 36(7): 700–704.
- WANG H, HUANG XB, LIU J, *et al.* Determination of a new sweetener advantame in food by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2018, 36(7): 700–704.
- [28] 公丕学, 杨昊, 廉贞霞, 等. 固相萃取-超高效液相色谱质谱法测定液体乳中爱德万甜[J]. 中国调味品, 2018, 43(6): 159–164.
- GONG PX, YANG H, LIAN ZX, *et al.* Determination of advantame in liquid milk by SPE-UPLC-MS/MS [J]. China Condiment, 2018, 43(6): 159–164.
- [29] 李丽萍, 范赛, 刘伟, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法检测白酒中 9 种甜味剂含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(7): 2216–2222.
- LI LP, FAN S, LIU W, *et al.* Simultaneous determination of 9 kinds of sweeteners in liquor by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(7): 2216–2222.
- [30] 童兰艳, 代政华, 肖昭竞, 等. 液相色谱-串联质谱法同时测定食品中 9 种甜味剂[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(2): 121–126.
- TONG LY, DAI ZH, XIAO ZJ, *et al.* Simultaneous determination of nine sweeteners in food by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 38(2): 121–126.
- [31] 郑小玲, 唐彬彬, 李贤良, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定白酒中 10 种甜味剂[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(5): 192–196.
- ZHENG XL, TANG BB, LI XL, *et al.* Determination of 10 sweeteners in white spirits by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(5): 192–196.
- [32] HU JG, MAO W, CHEN WT, *et al.* A QTRAP-based mass spectrometry method for the detection and confirmation of nine sweeteners in Chinese rice wine [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2023, 17(6): 6298–6306.
- [33] 陈鹏. 气质联用和液质联用中基质效应研究进展[J]. 天津药学, 2020, 32(4): 67–72.
- CHEN P. Study on matrix effect in GC-MS and LC-MS [J]. Tianjin Pharmacy, 2020, 32(4): 67–72.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)