DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250904003
引用格式: 倪鲁波, 高卓瑶, 吴俣, 等. 同位素内标-超高效液相色谱-串联质谱法测定水产制品中 9 种甜菊糖苷类甜味剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(1): 248–253.
NI LB, GAO ZY, WU Y, *et al*. Determination of 9 kinds of stevioside compounds in aquatic products by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with isotope internal standard [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(1): 248–253. (in Chinese with English abstract).

同位素内标-超高效液相色谱-串联质谱法测定水产制品中 9 种甜菊糖苷类甜味剂

倪鲁波[1], 高卓瑶[2*], 吴　俣[1], 戴意飞[1], 蒋玲波[1], 江　海[2], 吴　琼[2]
(1. 舟山市食品药品检验检测研究院, 舟山　316000; 2. 杭州市食品药品检验科学研究院, 杭州　310017)

摘　要: 目的　采用同位素内标法结合高效液相色谱-串联质谱法测定水产制品中 9 种甜菊糖苷类甜味剂的方法。**方法**　样品经甲醇水溶液(1:1, *V*:*V*)提取, CSH C_{18} 色谱柱分离, 梯度洗脱。使用电喷雾负离子模式, 以多反应监测模式采集, 内标法定量。**结果**　9 种甜菊糖苷类甜味剂在 0.1~100.0 ng/mL 范围内线性关系良好, 检出限为 2.0 μg/kg, 定量限为 5.0 μg/kg。低、中、高 3 个浓度加标回收试验, 回收率为 90.16%~103.69%, 相对标准偏差为 2.24%~6.38%。采用该方法对水产制品进行分析, 检出率为 12%。**结论**　该方法简便高效, 具有较高的准确度和灵敏度, 适用于水产制品中 9 种甜菊糖苷类甜味剂的测定。

关键词: 内标法; 水产制品; 甜菊糖苷; 高效液相色谱-串联质谱法

Determination of 9 kinds of stevioside compounds in aquatic products by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with isotope internal standard

NI Lu-Bo[1], GAO Zhuo-Yao[2*], WU Yu[1], DAI Yi-Fei[1], JIANG Ling-Bo[1], JIANG Hai[2], WU Qiong[2]
(1. *Zhoushan Institute of Food and Drug Inspection and Testing*, *Zhoushan* 316000, *China*;
2. *Hangzhou Institute for Food and Drug Control*, *Hangzhou* 310017, *China*)

ABSTRACT: Objective　To establish a method for the determination of 9 kinds of stevioside compounds in aquatic products by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with isotope internal standard. **Methods**　The sample was extracted with methanol aqueous solution (1:1, *V*:*V*), separated on a CSH C_{18} chromatographic column, and eluted with a gradient. The sample was analyzed in multiple reaction monitoring mode using electrospray negative ionization mode and quantified by internal standard method. **Results**　The 9 kinds of stevioside compounds showed good linear relationships in the range of 0.1–100.0 ng/mL. The limits of detection were 2.0 μg/kg, and the limits of quantitation were 5.0 μg/kg. The spiked recoveries of the method at low, medium and

收稿日期: 2025-09-04
基金项目: 浙江省市场监督管理局科技计划项目(ZC2023093)
第一作者: 倪鲁波(1988—), 男, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 597964420@qq.com
***通信作者:** 高卓瑶(1998—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品加工与安全。E-mail: 1433402191@qq.com

high spiked levels showed that the recoveries were in the range of 90.16%–103.69% with the relative standard deviations of 2.24%–6.38%. The method was used to analyze aquatic products, with a detection rate of 12%. **Conclusion**　The method is simple, efficient, and highly accurate and sensitive, making it suitable for the determination of 9 kinds of stevioside compounds in aquatic products.

KEY WORDS: internal standard method; aquatic products; stevioside compounds; ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

0　引　言

甜菊糖苷是一种从菊科植物甜叶菊叶片中提取的天然非糖类甜味剂, 因低热量、高甜度而广泛应用于食品工业[1–3]。在水产加工领域, 甜菊糖苷能够有效调节水分保持能力[4], 抑制微生物生长[5], 延缓蛋白质变性和脂肪氧化[6–7], 从而显著延长水产制品的货架期[8–10]。然而, 根据 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》, 甜菊糖苷虽被允许在部分食品类别中限量使用, 但尚未明确涵盖水产制品。这导致市售产品质量参差不齐, 若添加量或使用范围失控, 可能引发消费者摄入过量风险。因此, 建立科学有效的甜菊糖苷检测体系, 对保障水产行业规范发展至关重要。

现行有效的甜菊糖苷检测标准 GB 1886.355—2022《食品安全国家标准 食品添加剂 甜菊糖苷》和 SN/T 3854—2014《出口食品中天然甜味剂甜菊糖苷、甜菊双糖苷、甘草酸、甘草次酸的测定 高效液相色谱法》, 存在基质类别覆盖不全、甜菊糖苷种类不齐等问题[11]。现有文献报道的检测方法以液相色谱法[12–16]、液相色谱-串联质谱法[17–22]和薄层色谱分析法[23]为主。其中, 薄层色谱法因前处理复杂、衍生化步骤烦琐且检测误差较大, 在实际应用中受限; 液相色谱法对复杂基质的分离效果不理想, 容易出现假阳性或假阴性结果; 而液相色谱-串联质谱法虽灵敏度较高, 但现有研究多采用外标法, 且样本集中在甜叶菊[24–26]、白酒[27–28]、饮料[29–30]等简单基质, 当应用于水产制品等复杂基质时, 普遍存在回收率偏低、目标峰与杂质峰重叠等现象, 一定程度上影响检测结果的准确性和可靠性。

鉴于此, 本研究针对基质较为复杂的水产制品, 采用超高效液相色谱-串联质谱仪, 同位素内标定量, 建立了一种能够同时测定水产制品中 9 种甜菊糖苷类化合物的分析方法。该方法操作简便, 定性结果准确, 旨在为甜菊糖苷在水产行业中的应用提供科学依据, 并为相关质量控制和监管工作提供技术支持, 以确保甜菊糖苷在水产品加工中的安全性和有效性。

1　材料与方法

1.1　试剂与材料

甲醇、乙腈、乙酸铵(色谱纯, 德国 Merck 公司); 实验室用水为超纯水; 9 种甜菊糖苷类甜味剂标准品、同位素内标 U-^{13}C 甜菊糖苷(纯度均大于 98%, 上海安谱有限公司), 具体信息见表 1。

水产制品均购自舟山市各大农贸市场、超市。

表 1　9 种甜菊糖苷类化合物和同位素内标的基本信息
Table 1　Basic information of 9 kinds of stevioside compounds and isotopic internal standards

化合物	英文名称	缩写	CAS 号
甜菊糖苷	stevioside	St	57817-89-7
杜克苷 A	dulcoside A	DA	64432-06-0
甜茶苷	rubusoside	RS	64849-39-4
甜菊双糖苷	steviolbioside	SB	41093-60-1
瑞鲍迪苷 A	rebaudioside A	Reb A	58543-16-1
瑞鲍迪苷 B	rebaudioside B	Reb B	58543-17-2
瑞鲍迪苷 C	rebaudioside C	Reb C	63550-99-2
瑞鲍迪苷 D	rebaudioside D	Reb D	63279-13-0
瑞鲍迪苷 F	rebaudioside F	Reb F	438045-89-7
U-^{13}C 甜菊糖苷	[U-^{13}C]-stevioside	[U-^{13}C]-St	/

注: /表示没有相关信息。

1.2　仪器与设备

Waters Xevo TQ-XS 超高效液相色谱-三重四极杆串联质谱仪、ACQUITY UPLC CSH C_{18} (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)、XBridge Amide (2.1 mm×100 mm, 3.5 μm)(美国沃特世公司); AVANTIJ-E 大容量高速冷冻离心机(美国 BEAKMAN 公司); CPA225D 型精密分析天平(精度 0.01 mg, 德国赛多利斯科学仪器有限公司); Multi Reax 多孔位旋涡振荡器(德国海道尔夫公司); Milli-Q 超纯水仪(美国密理博公司)。

1.3　标准溶液的配制

混合标准工作液: 分别称取 9 种甜菊糖苷类甜味剂标准品约 1 mg(精确至 0.01 mg)于 100 mL 容量瓶中, 用甲醇溶解, 稀释至刻度, 配制成质量浓度为 10 μg/mL 的混合标准工作液, –20 ℃条件下避光保存, 有效期为 3 个月。

[U-^{13}C]-St 内标储备液: 称取 5 mg(精确至 0.01 mg)同位素内标[U-^{13}C]-St 于 100 mL 容量瓶中, 用甲醇溶解, 稀释至刻度, 配制成质量浓度为 50 μg/mL 的内标储备液,

–20 ℃条件下避光保存, 有效期为 3 个月。

[U-^{13}C]-St 内标工作液: 准确吸取 1 mL 内标工作液于 100 mL 容量瓶, 用甲醇稀释定容至刻度, 配制成质量浓度为 500 ng/mL 的内标工作液, –20 ℃条件下避光保存, 有效期为 1 个月。

1.4 样品前处理

称取试样 5.00 g(精确至 0.01 g)于 50 mL 离心管中, 加入[U-^{13}C]-St 内标工作液(500 ng/mL) 500 μL, 涡旋 30 s, 加入 25 mL 甲醇水溶液(1:1, *V*:*V*), 振荡 5 min 混匀后, 以 5000 r/min 的转速离心 5 min, 取上清液过 0.22 μm 有机相滤膜, 待测。

1.5 试验条件

1.5.1 色谱条件

色谱柱: ACQUITY UPLC CSH C_{18} (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm); 柱温: 35 ℃; 流速: 0.3 mL/min; 进样量: 2 μL; 流动相: A 为甲醇, B 为 5 mmol/L 乙酸铵溶液, 具体的梯度洗脱程序, 如表 2 所示。

表 2 流动相洗脱程序

Table 2 Procedure of mobile phase elution

时间/min	流动相 A 比例/%	流动相 B 比例/%
0~0.5	5	95
0.5~3.0	45	55
3.0~4.0	85	15
4.0~7.0	88	12
7.0~8.0	5	95

1.5.2 质谱条件

离子源为电喷雾电离; 扫描方式为负离子扫描; 采集模式为多反应监测。离子源温度 250 ℃, 锥孔电压 25 kPa, 碰撞气电压 20 kPa。9 种甜菊糖苷类甜味剂的具体质谱参数, 如表 3 所示。

1.6 数据处理

本研究所有实验数据采用 Masslynx 4.2 软件进行定性定量分析, Qrigin 8.0 和 Microsoft Excel 2016 软件进行绘图计算。

2 结果与分析

2.1 提取溶剂的选择

甜菊糖苷类甜味剂为强极性化合物, 易溶于亲水有机溶剂。本研究采用空白样品加标法, 比较了甲醇、乙腈、甲醇-水(1:1, *V*:*V*)和乙腈-水(1:1, *V*:*V*) 4 种溶剂的提取效果, 其他前处理步骤一致, 结果如图 1 所示。4 种溶剂的提取率均高于 60%, 其中甲醇-水(1:1, *V*:*V*)的提取效果较高。因此, 选用甲醇-水(1:1, *V*:*V*)作为水产制品中甜菊糖苷类甜味剂的提取溶剂。

表 3 9 种甜菊糖苷类甜味剂的质谱参数

Table 3 Mass spectrometric parameters of 9 kinds of stevioside compounds

化合物	母离子	子离子	去簇电压/V	碰撞能量/V	保留时间/min
RS	641.4	112.9*	25	48	5.90
		317.2	25	25	
SB	641.5	479.3*	32	45	5.90
		317.2	32	40	
DA	787.4	497.3	30	56	5.73
		625.3*	30	25	
Reb B	803.3	413.2*	15	55	5.61
		479.2	15	45	
St	803.4	479.3	36	56	5.61
		641.3*	36	31	
Reb F	935.4	641.5*	65	54	5.68
		773.4	65	25	
Reb C	949.4	625.3*	30	60	5.72
		787.4	30	35	
Reb A	965.4	641.4	35	56	5.60
		803.4*	35	30	
Reb D	1127.5	641.3	120	60	5.25
		803.4*	120	50	
[U-13C]-St	841.4	673.6	40	31	5.60

注: *为定量离子。

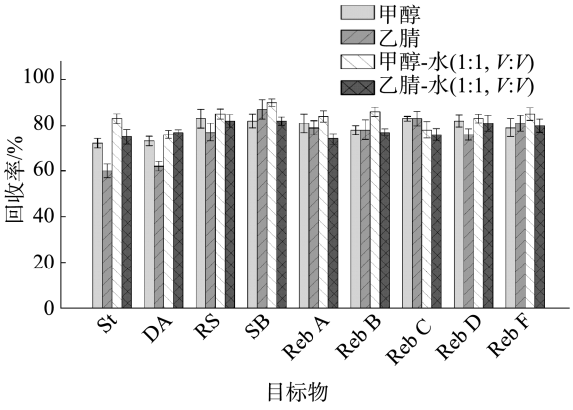


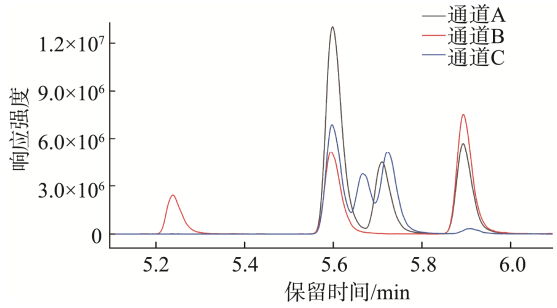
图 1 不同提取试剂的提取效果对比

Fig.1 Comparison of extraction effects of different extraction reagents

2.2 色谱柱的选择

甜菊糖苷因侧链携带多个葡萄糖残基而呈强极性。为此, 实验同步评估了 ACQUITY UPLC CSH C_{18} (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)与 XBridge Amide (2.1 mm×100 mm, 3.5 μm)的保留行为与质谱响应差异。在统一梯度及相同质谱条件

下, 两柱均可分离 9 种目标物。然而, ACQUITY UPLC CSH C_{18} 提供的质子化效率显著优于 Xbridge Amide 柱, 平均峰面积提升 1.8~2.4 倍, 信噪比(*S*/*N*)提高约 15%。综合考虑灵敏度与分离度, 最终选定 ACQUITY UPLC CSH C_{18} 作为分析柱, 其总离子流图见图 2。



注: 通道 A. RS、St、[U-^{13}C]-St、Reb C; 通道 B. SB、Reb A、Reb D; 通道 C. DA、Reb B、Reb F。

图 2　9 种甜菊糖苷类化合物和同位素内标总离子流图

Fig.2　Total ion chromatogram of 9 kinds of stevioside compounds and isotopic internal standard

2.3　流动相的选择

水产制品中富含蛋白质、磷脂、脂溶性色素等化合物, 易对甜菊糖苷检测造成基质干扰, 为进一步提高方法的灵敏度和准确度, 本研究以 ACQUITY UPLC CSH C_{18} (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)为固定相, 系统考察了甲醇-5 mmol/L 乙酸铵溶液和甲醇-0.1%甲酸水溶液两种流动相对目标物保留行为与峰形的影响。结果显示, 前者峰形尖锐, 且基质峰分离更佳; 后者峰展宽明显, 因此确定流动相为甲醇-5 mmol/L 乙酸铵溶液。

2.4　线性关系、检出限和定量限

根据仪器灵敏度和样品实测值, 配制 0.1、0.5、1.0、5.0、10.0、50.0、100.0 ng/mL 甜菊糖苷类甜味剂系列标准工作液, 按 1.5 所述仪器条件进行测定。以目标化合物的定量离子峰面积与内标峰面积之比为纵坐标(*Y*), 相应的质量浓度之比为横坐标(*X*, ng/mL), 得出 9 种甜菊糖苷类甜味剂的线性回归方程和相关系数, 结果见表 4。该方法的线性关系良好, 相关系数为 0.9957~0.9998。以 3 倍信噪比确定检出限, 10 倍信噪比确定定量限, 得到 9 种甜菊糖苷类甜味剂的检出限为 2.0 μg/kg, 定量限为 5.0 μg/kg。

2.5　方法的精密度和回收率

按优化后的实验条件, 对空白样品进行 9 种甜菊糖苷类甜味剂的加标实验, 加标量分别为各目标化合物的 1 倍定量限(5.0 μg/kg)、3 倍定量限(15.0 μg/kg)和 10 倍定量限(50.0 μg/kg), 每个加标水平设置 6 个平行, 计算回收率和相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。结果表明, 9 种甜菊糖苷类甜味剂的平均回收率在 90.16%~103.69%之间, RSDs 在 2.24%~6.38%范围内, 具体结果见表 5, 该方法准确度和精密度满足水产制品中甜菊糖苷类甜味剂分析测定的要求。

2.6　实际样品的测定

采用本研究建立的方法, 对市面 50 批次水产制品进行验证分析, 检出率 12%。其中, 甜菊糖苷与甜菊双糖苷为主要检出组分, 含量分别达 1.06~5.04 mg/kg 和 0.28~0.45 mg/kg, 显著高于其他目标物, 进一步证实了方法的准确性与适用性。

2.7　与现有方法进行对比

本研究采用空白基质加标实验, 以前处理耗时、检出限、定量限以及回收率为评价指标, 系统比较了本方法与 SN/T 3854—2014 及钟永生等[20]方法, 如表 6 所示。结果表明, 本方法在灵敏度与效率方面均明显优于对照方法, 检出限、定量限均低于比对方法, 前处理单次操作时间缩短至 10 min, 回收率远高于其他方法。此外, 本研究方法可同步检测 9 种甜菊糖苷类甜味剂, 覆盖范围全面。综上, 该方法可满足水产制品中多种甜菊糖苷类甜味剂高通量、高灵敏、准确测定的分析需求。

表 4　9 种甜菊糖苷类甜味剂的线性范围、检出限和定量限

Table 4　Linearity ranges, limits of detection and limits of quantitation of 9 kinds of stevioside compounds

化合物	线性范围/(ng/mL)	线性回归方程	相关系数(*r*)	检出限/(μg/kg)	定量限/(μg/kg)
RS	0.1~100.0	*Y*=10517.5*X*+1114.64	0.9998	2.0	5.0
SB	0.1~100.0	*Y*=3209.87*X*–591.074	0.9977	2.0	5.0
DA	0.1~100.0	*Y*=8566.1*X*+316.451	0.9992	2.0	5.0
Reb B	0.1~100.0	*Y*=522.286*X*+179.869	0.9957	2.0	5.0
St	0.1~100.0	*Y*=16075.1*X*–1992.94	0.9980	2.0	5.0
Reb F	0.1~100.0	*Y*=4910.4*X*+130.943	0.9991	2.0	5.0
Reb C	0.1~100.0	*Y*=5479.18*X*+273.637	0.9994	2.0	5.0
Reb A	0.1~100.0	*Y*=4401.66*X*+151.285	0.9995	2.0	5.0
Reb D	0.1~100.0	*Y*=3306.25*X*–659.199	0.9983	2.0	5.0

表 5 水产制品中 9 种甜菊糖苷类甜味剂的平均回收率及 RSDs (*n*=6)

Table 5 Average recoveries and RSDs of 9 kinds of stevioside compounds in aquatic products (*n*=6)

化合物	加标浓度/(μg/kg)	平均回收率/%	RSDs/%
RS	5.0	90.18	4.63
	15.0	92.15	4.35
	50.0	97.43	3.85
SB	5.0	91.45	4.26
	15.0	102.14	3.34
	50.0	93.22	3.80
DA	5.0	101.14	4.38
	15.0	102.39	2.44
	50.0	96.35	4.31
Reb B	5.0	90.16	5.22
	15.0	93.04	4.31
	50.0	98.27	4.90
St	5.0	95.43	5.46
	15.0	96.54	4.81
	50.0	102.10	4.38
Reb F	5.0	94.65	5.57
	15.0	102.10	2.54
	50.0	95.33	3.59
Reb C	5.0	95.35	5.43
	15.0	103.66	4.24
	50.0	94.50	3.81
Reb A	5.0	103.69	3.94
	15.0	101.20	5.35
	50.0	93.87	5.84
Reb D	5.0	90.58	6.38
	15.0	93.29	2.24
	50.0	94.87	3.66

表 6 与现有方法对比结果

Table 6 Comparison results with existing methods

考察参数	本方法	SN/T 3854—2014	钟永生等[20]所建方法
前处理时间/min	10	60	50
目标物种类	9	2	3
检出限/(μg/kg)	2.0	/	8
定量限	5.0 μg/kg	20 mg/kg	24 μg/kg
回收率/%	96.8	79.5	85.2

注: /表示文献中未提及, 缺少相关参数。

3 结 论

本研究创新性地建立了水产制品中 9 种甜菊糖苷类甜味剂的同时检测方法, 基于超高效液相色谱-串联质谱仪, 实现了三重突破: 首先, 首次引入同位素内标法定量, 显著提升检测准确性; 其次, 覆盖目前最全面的甜菊糖苷检测种类; 最后, 通过系统优化提取条件, 建立了一步提取法, 前处理时间缩短至 10 min。方法学验证表明, 本方法在灵敏度、回收率等关键指标上均优于现有标准。该方法方法简便、精准、高通量, 适用于我国水产制品中甜菊糖苷的大规模筛查需求, 为食品安全监管和风险评估提供了可靠的技术支持。

参考文献

[1] 朱迪, 宿玲恰. 天然甜味剂功能活性及应用研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2024, 43(12): 20–28.
ZHU D, SU LQ. Advancements in the functional activities and application of natural sweeteners [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2024, 43(12): 20–28.

[2] 成圆, 王宇加, 王婷婷, 等. 几种典型天然甜味剂的功能活性及食品加工应用[J]. 现代食品科技, 2023, 39(8): 326–333.
CHENG Y, WANG YJ, WANG TT, *et al.* Functional activities of several typical natural sweeteners and their applications in food processing [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(8): 326–333.

[3] AZEEZ OH, ALKASS SY, PERSIKE DS. Long-term saccharin consumption and increased risk of obesity, diabetes, hepaticdysfunction, and renal impairment in rats [J]. Medicina (B Aires), 2019, 55: 681

[4] 孙绍鹏, 周卫强, 李皓然, 等. 新型甜味剂甜菊糖苷产品的开发及其应用进展[J]. 现代食品, 2020, 3(5): 23–25.
SUN SP, ZHOU WQ, LI HR, *et al*. Development and application of new sweetener stevioside products [J]. Modern Food, 2020, 3(5): 23–25.

[5] MOSSAVAR-RAHMANI Y, KAMENSKY V, MANSON JE, *et al*. Artificially sweetened beverages and stroke, coronaryheart disease, and all-cause mortality in the women's health initiative [J]. Stroke, 2019, 50: 555–562.

[6] GREEN CH, SYN WK. Non-nutritive sweeteners and their association with the metabolic syndrome and non-alcoholic fattyliverdisease: A review of the literature [J]. European Journal of Nutrition, 2019, 58: 1785–1800.

[7] 王硕. 食品添加剂在出口水产品中的应用分析[J]. 食品安全导刊, 2021(12): 23–25.
WANG S. Application analysis of food additives in exported aquatic products [J]. China Food Safety Magazine, 2021(12): 23–25.

[8] 蔡路昀, 年琳玉, 李秀霞. 低热量甜味剂对鳕鱼皮明胶理化及功能性质的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(11): 85–96.
CAI LY, NIAN LY, LI XX. Effects of low-calorie sweeteners on the physicochemical and functional properties of cod skin gelatin [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(11): 85–96.

[9] FERDOUS J, BHUIA SM, CHOWDHURY R, *et al.* Therapeutic effects of natural food additives steviol glycosides from stevia rebaudiana: A comprehensive review with mechanisms [J]. Journal of Food Biochemistry, 2025(1): 7772203.

[10] CHO J, PARK JH, YUN IC, *et al*. Validation and determination of steviol glycosides in processed food products [J]. Food Science and Biotechnology, 2025, 34: 3527–3536.

[11] 朱静, 刘志鹏, 高佳乐, 等. 甜菊糖苷检测方法及其在食品中的应用[J]. 广西糖业, 2025, 45(2): 121–127.

ZHU J, LIU ZP, GAO JL, *et al*. Detection method of stevioside and its application in food [J]. Guangxi Sugar Industry, 2025, 45(2): 121–127.

[12] 严杏, 陈振彪, 蒙嘉鹏, 等. 高效液相色谱法测定食品中 13 种甜菊糖苷[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(19): 252–261.
YAN X, CHEN ZB, MENG JP, *et al*. Determination of 13 kinds of steviol glycosides in foods by high performance liquidchromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(19): 252–261.

[13] 邱宇, 王亮亮, 孙逸清, 等. 高效液相色谱法同时快速测定调味品等中的 9 种甜菊糖苷类化合物[J]. 食品与发酵科技, 2023, 59(6): 142–149.
QIU Y, WANG LL, SUN YQ, *et al*. Simultaneous and rapid determination of nine stevia glycosides compounds in condiments by HPLC [J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2023, 59(6): 142–149.

[14] 孙立臻, 周禹君, 尹丽丽, 等. 高效液相色谱法同时测定饮料中 10 种天然甜味剂[J]. 食品工业, 2019, 40(10): 344–348.
SUN LZ, ZHOU YJ, YIN LL, *et al*. Simultaneous determination of ten natural sweeteners in beverages by high performance liquid chromatography [J]. The Food Industry, 2019, 40(10): 344–348.

[15] 高芝炀, 梁嘉敏. 高效液相色谱法同时测定奶昔粉中的安赛蜜和瑞鲍迪苷 A[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(23): 8647–8652.
GAO ZY, LIANG JM. Determination of acesulfame potassium and rebaudioside A in milkshake powder by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(23): 8647–8652.

[16] 刘莹, 李莹, 刘祥, 等. 饮料中甜菊糖苷水解条件的优化及高效液相色谱法测定[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(8): 177–182.
LIU Y, LI Y, LIU X, *et al*. Optimization of acid hydrolysis conditions of stevioside in beverage and determination of steviol by high performance liquid chromatography [J]. Food Research and Development, 2023, 44(8): 177–182.

[17] 冯峰, 李伟明, 孙燕, 等. 超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱非靶标筛查测定白酒和饮料中甜菊糖苷[J]. 色谱, 2019, 37(1): 87–92.
FENG F, LI WM, SUN Y, *et al*. Non-targeted screening and determination of steviol glycosides in Chinese liquor and beverages by ultra high performance liquid chromatography-quadrupole/Orbitrap mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2019, 37(1): 87–92.

[18] CHENG S, WANG S, ZHENG M, *et al*. Simultaneous analysis of natural and artificial sweeteners in sugar-free drinks and urine samples by column-switching UHPLC-charged aerosol detection method [J]. Journal of Chromatography A, 2024, 1713: 464533.

[19] 王晓艳, 李成, 闫茜, 等. 高效液相色谱串联质谱法同时检测预制菜中 14 种甜味剂[J]. 食品工业科技, 2025, 46(10): 291–300.
WANG XY, LI C, YAN Q, *et al*. Simultaneous detection of 14 sweeteners in pre-prepared dishes using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(10): 291–300.

[20] 钟永生, 万承波, 朱钦, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定食用农产品(水果)中 14 种甜味剂含量[J]. 食品科技, 2024, 49(4): 315–321.
ZHONG YS, WAN CB, ZHU Q, *et al*. Simultaneous determination of 14 sweeteners in edible agricultural products (fruits) by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Science and Technology, 2024, 49(4): 315–321.

[21] MOLINA-CALLE M, PRIEGO-CAPOTE F, DE-CASTRO MDL. Characterization of stevia leaves by LC-QTOF MS/MS analysisof polar and non-polar extracts [J]. Food Chemistry, 2017, 219: 329–338.

[22] PHUNGSIANGDEE Y, CHAOTHONG P, KARNPANIT W, *et al*. Validation of UHPLC-ESI-MS/MS method for determiningsteviol glycoside and its derivatives in foods and beverages [J]. Foods, 2023, 12: 3941.

[23] 周莹婷, 张涛俊, 王巧宇, 等. 一种同时鉴定多种甜菊糖苷的薄层色谱分析方法[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(3): 76–84.
ZHOU YT, ZHANG TJ, WANG QY, *et al*. A TLC method for simultaneous identification of multiple stevia glycosides [J]. China Food Additives, 2021, 32(3): 76–84.

[24] 张苹苹, 王立勋, 吉桂珍, 等. 高效液相色谱法同时测定甜叶菊中 9 种甜菊糖苷类化合物[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(6): 105–111.
ZHANG PP, WANG LX, JI GZ, *et al*. Simultaneous determination of 9 steviol glycosides in *Stevia rebaudiana* by high performance liquid chromatography [J]. China Food Additives, 2020, 31(6): 105–111.

[25] 罗勇为, 钟晓燕, 姚满芳, 等. 色谱法测定甜叶菊叶片及其提取物中甜菊糖总苷含量的研究[J]. 甘蔗糖业, 2020, 49(6): 53–59.
LUO YW, ZHONG XY, YAO MF, *et al*. Determination of stevia glycosides in stevia leaves and extracts by high performance liquid chromatography [J]. Sugarcane and Canesugar, 2020, 49(6): 53–59.

[26] 周清滕, 吴艳青, 胡贝贝, 等. 液相色谱法定量甜菊糖苷类化合物的研究进展[J]. 中国糖科, 2025, 47(2): 46–58.
ZHOU QT, WU YQ, HU BB, *et al*. Research progress on quantitative analysis of steviol glycosides by liquid chromatography [J]. Sugar Crops of China, 2025, 47(2): 46–58.

[27] 梅婕, 司冠儒, 张温清, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定白酒中 6 种甜味剂[J]. 酿酒科技, 2016(3): 102–103.
MEI J, SI GR, ZHANG WQ, *et al*. Determination of 6 sweeteners in liquor by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2016(3): 102–103.

[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 spirits by using ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2020, 32(2): 154–159.

[29] 解楠. 高效液相色谱法同时测定饮料和果冻中 9 种食品添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(4): 1524–1530.
XIE N. Simultaneous determination of 9 food additives in beverages and jelly by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(4): 1524–1530.

[30] 周文清. 高效液相色谱法检测运动饮料中甜菊糖苷[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(2): 161–164.
ZHOU WQ. Analysis steviol glycosides in sports drink by high performance liquid chromatography [J]. Food Research and Development, 2017, 38(2): 161–164.

(责任编辑: 安香玉　蔡世佳)