

# 超高效液相色谱—串联质谱法同时测定 甘草甜素中 8 种甜味剂

何 靛 朱玲超 胡瑞林 张 涛 宋春满

(云南中烟工业有限责任公司技术中心, 云南 昆明 650106)

**摘要:** [目的] 建立超高效液相色谱—串联质谱快速分析甘草甜素中 8 种甜味剂含量的分析方法。[方法] 甘草甜素样品经 20 mL 纯水超声提取 30 min 后用 0.22  $\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤, 采用 Waters HSS T3 色谱柱分离, 以体积分数 0.2% 氨水溶液—甲醇梯度洗脱, 电喷雾负离子模式下测定, 内标法定量。[结果] 8 种甜味剂在 0.1~20.0  $\mu\text{g/mL}$  范围内线性关系良好, 相关系数均大于 0.99, 定量限为 0.2~1.0  $\mu\text{g/g}$ , 样品加标平均回收率为 85.8%~103.0%, 相对标准偏差为 2.4%~4.6%。[结论] 该方法简便快速, 适用于甘草甜素中 8 种甜味剂含量分析。

**关键词:** 甘草甜素; 甜味剂; 超高效液相色谱—串联质谱

## Simultaneous determination of eight sweeteners in glycyrrhizin by ultrahigh performance liquid chromatograph-tandem mass spectrometry

He Liang Zhu Lingchao Hu Ruilin Zhang Tao Song Chunman

(Technology Center, China Tobacco Yunnan Industrial Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650106, China)

**Abstract:** [Objective] To establish a method based on ultrahigh performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry for rapid determination of eight sweeteners in glycyrrhizin. [Methods] The sample is ultrasonically extracted with 20 mL pure water for 30 min, passed through 0.22  $\mu\text{m}$  microporous filter membrane, separated through the Waters HSS T3 column, subjected to gradient elution with 0.2% (V/V) ammonia solution-methanol, and detected under the negative mode of electrospray ionization. [Results] The eight sweeteners showed a good linear relationship between peak area and concentration within the range of 0.1~20.0  $\mu\text{g/mL}$ , with correlation coefficients greater than 0.99. The limits of quantification are within the range of 0.2~1.0  $\mu\text{g/g}$ . The average recoveries of sample spiked are within the range of 85.8%~103.0%, and the relative standard deviations are in the range of 2.4%~4.6%. [Conclusion] This method is simple, rapid, and suitable for determination of the content of 8 sweeteners in glycyrrhizin.

**Keywords:** glycyrrhizin; sweetener; ultrahigh performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

甘草 (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) 是一种药食同源中药材, 甘草甜素是甘草中的重要成分, 在甘草根茎中的含量为 3%~14%, 其甜度是蔗糖的 50~100 倍, 但几乎没有热量<sup>[1-2]</sup>, 是良好的天然甜味剂。甘草甜素还具有抗病毒、抗肿瘤、抗氧化、免疫调节等生理功能而常被用于药品<sup>[3-4]</sup>。甘草的粗提取物能够很好地保留甘草原有的特殊风味, 精加工产品则在风味方面有所损失<sup>[4]</sup>。提取工艺

的差异, 会导致不同厂家甘草甜素含量和风味的不同。部分厂家采取通过添加人工甜味剂来掩盖产品缺陷。人工合成甜味剂的超标使用及其自身的缺点会给人类健康带来一定的危害<sup>[5-8]</sup>。GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中对人工合成甜味剂的使用范围和使用量均有规定。检测这些甜味剂的方法散见于各个标准, 如 GB 5009.28—2016《食品安全国家标准 食

**基金项目:** 云南大观实验室项目 (编号: YNDG202301XL03); 云南中烟工业有限责任公司科技计划项目 (编号: 2023XL03)

**通信作者:** 宋春满 (1972—), 男, 云南中烟工业有限责任公司副研究员, 博士。E-mail: chunmansong@126.com

**收稿日期:** 2025-08-04 **改回日期:** 2026-02-06

**引用格式:** 何靛, 朱玲超, 胡瑞林, 等. 超高效液相色谱—串联质谱法同时测定甘草甜素中 8 种甜味剂[J]. 食品与机械, 2026, 42(8): 55-60.

**Citation:** He Liang, Zhu Lingchao, Hu Ruilin, et al. Simultaneous determination of eight sweeteners in glycyrrhizin by ultrahigh performance liquid chromatograph-tandem mass spectrometry[J]. Food & Machinery, 2026, 42(8): 55-60.

品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定》、GB 5009.263—2016《食品安全国家标准 食品中阿斯巴甜和阿力甜的测定》、GB 5009.298—2023《食品安全国家标准 食品中三氯蔗糖(蔗糖素)的测定》、GB 5009.247—2025《食品安全国家标准 食品中纽甜的测定》等,测定方法仍以液相色谱检测为主<sup>[9]</sup>,尚未有涵盖这些甜味剂的液相色谱—串联质谱标准检测方法。有些甜味剂由于理化性质特殊,如三氯蔗糖没有光吸收,只能采用示差折光检测器或蒸发光散射检测器检测,其他几种甜味剂的吸收波长接近有机溶剂的截止波长,检测容易受到干扰,且灵敏度不高。超高效液相色谱—串联质谱(UPLC-MS-MS)因具有选择性好、灵敏度高等特点,越来越多地用于酒类和饮料等食品中的甜味剂检测<sup>[10-12]</sup>。甘草甜素作为 GB 2760—2024 名单中的食品添加剂,目前未有对其成分要求的标准。研究拟建立 UPLC-MS-MS 检测甘草甜素中 8 种甜味剂含量的分析方法,以期对甘草甜素的质量控制和安全评价提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

色谱柱 Waters HSS T3(100 mm×2.1 mm,1.8 μm)、CSH C<sub>18</sub>(100 mm×2.1 mm,1.7 μm)、BEH C<sub>18</sub>(100 mm×2.1 mm,1.7 μm);美国 Waters 公司;

乙腈、甲醇:色谱纯,德国 Merck 公司;

甲酸、甲酸铵、氨水:质谱纯,迪马(Dikma)公司;

安赛蜜、糖精钠、甜蜜素、三氯蔗糖、阿力甜、阿斯巴甜、纽甜、甜菊糖苷标准品:纯度均大于 99.0%,德国 Merck 公司;

华法林钠(内标物):纯度 99.0%,上海源叶生物科技有限公司;

甘草甜素:市售。

1.1.2 主要仪器设备

串联质谱仪:Bruker EVOQ 型,美国 Bruker 公司;

超高效液相色谱仪:Waters Acquity 型,美国 Waters 公司;

超声波清洗机:XM-500UVF 型,小美超声仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 溶液配制 精密称取 8 种甜味剂和内标标准物质各 100 mg,用纯水溶解定容,配制质量浓度为 1 000 μg/mL 的单标储备液和内标储备液。取每种单标储备液各 1 mL 于 10 mL 容量瓶中,配制质量浓度为 100 μg/mL 的混合标准储备液。取 1 mL 内标储备液到 10 mL 容量瓶,配制质量浓度为 100 μg/mL 的内标工作液。

1.2.2 样品处理 称取 50 mg 甘草甜素粉末到 50 mL 离心管中;加入质量浓度为 100 μg/mL 的内标液 0.1 mL,加入 20 mL 纯水,超声提取 30 min,再用 0.22 μm 微孔滤膜过

滤后上机分析。

1.2.3 分析条件

(1) 色谱条件:色谱柱为 Waters HSS T3 柱(100 mm×2.1 mm,1.8 μm);柱温 30 ℃;进样量 2 μL。流动相:A 为体积分数 0.2% 的氨水超纯水溶液,B 为甲醇。洗脱程序:0~3.0 min,0%~40% B;3.0~6.0 min,40%~100% B;6.0~7.5 min,100% B;7.5~8.0 min,100%~0% B;8.0~9.0 min,0% B。流量 0.25 mL/min。

(2) 质谱条件:电喷雾负离子模式、多反应监测;喷雾电压 3 500 V;雾化气压力 0.45 MPa;辅助气压力 0.35 MPa;离子源温度 350 ℃。

1.3 数据处理

超高效液相色谱—串联质谱分析样品采集的原始数据通过相应的仪器工作站 Bruker MS Workstation V8.2.1 处理,进行定性定量分析。一般统计使用 Microsoft Excel 进行。

2 结果与分析

2.1 质谱参数优化

采用针泵分别在电喷雾正离子和负离子模式下,寻找优化每个组分的离子对及相应参数。结果表明,安赛蜜、纽甜、阿力甜和阿斯巴甜 4 种组分在两种离子模式下响应强度均较好,在负离子模式下响应略优于正离子模式;其余组分在正离子模式下响应较小。综合考虑所有组分均选择在负离子模式下检测,可不必反复切换离子模式检测。负离子模式下,安赛蜜、糖精钠、三氯蔗糖分别以[M-K]<sup>-</sup>、[M-Na-2H<sub>2</sub>O]<sup>-</sup>、[M-2H]<sup>-</sup>为母离子,甜蜜素、华法林钠采用[M-Na]<sup>-</sup>为母离子,其余组分均使用[M-H]<sup>-</sup>为母离子。各组分优化得到的参数见表 1。

2.2 色谱条件优化

2.2.1 流动相添加剂对色谱分离的影响 使用液相色谱—串联质谱分析甜味剂时,水相常添加缓冲盐溶液或弱酸性溶液,以改善峰形和提升响应值。目前常在水相

表 1 8 种甜味剂的质谱参数

Table 1 MRM parameters of eight sweeteners

| 甜味剂  | 保留时间/min | 定量离子对(m/z)  | 定性离子对(m/z)  | 碰撞能/V |
|------|----------|-------------|-------------|-------|
| 安赛蜜  | 2.07     | 162.0/82.0  | 162.0/78.0  | 15;15 |
| 糖精钠  | 2.43     | 181.9/106.0 | 181.9/42.0  | 16;20 |
| 甜蜜素  | 2.67     | 178.0/80.0  | 178.0/96.1  | 20;16 |
| 阿斯巴甜 | 3.68     | 293.1/200.0 | 293.1/261.1 | 24;16 |
| 阿力甜  | 3.97     | 330.2/312.0 | 330.2/295.0 | 12;16 |
| 华法林钠 | 4.20     | 307.1/160.9 | 307.1/250.0 | 16;22 |
| 三氯蔗糖 | 4.67     | 395.0/359.1 | 397.0/361.1 | 5;5   |
| 纽甜   | 5.29     | 377.2/200.0 | 377.2/345.0 | 15;10 |
| 甜菊糖苷 | 6.53     | 803.4/641.2 | 803.4/479.5 | 24;50 |

中添加0.1%甲酸<sup>[13-15]</sup>、0.1%乙酸<sup>[16]</sup>、甲酸铵<sup>[17]</sup>、乙酸铵<sup>[18-19]</sup>、甲酸与甲酸铵<sup>[20-21]</sup>、乙酸与乙酸铵<sup>[22]</sup>等。试验比较了水相不添加甲酸铵或甲酸、添加10 mmol/L甲酸铵、添加0.1%甲酸、添加0.2%氨水的洗脱效果。如图1

所示,水相添加0.2%氨水时,各组分峰形最优,其次是添加0.1%甲酸,添加10 mmol/L甲酸铵时,阿力甜、三氯蔗糖和纽甜峰形稍差;不添加甲酸铵或甲酸时,安赛蜜、糖精钠、甜蜜素和阿力甜峰展较宽峰形差。

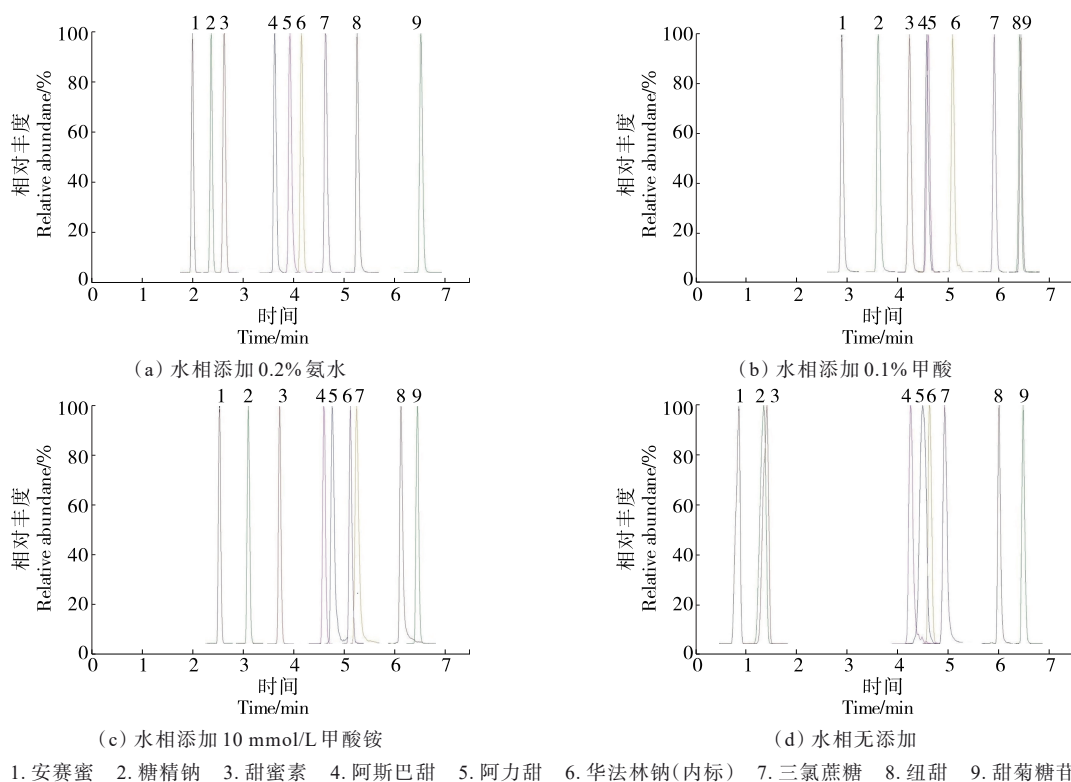


图1 不同流动相添加剂条件下8种甜味剂的MRM色谱图

Figure 1 MRM chromatograms of eight sweeteners with different mobile phase additives

从色谱分离度看,添加0.2%氨水时,各组分完全分离,分离度最优,其次是添加10 mmol/L甲酸铵;添加0.1%甲酸时阿斯巴甜和阿力甜未能实现色谱分离;不添加甲酸或甲酸铵时,糖精钠和甜蜜素色谱分离不完全,阿斯巴甜、阿力甜和内标也未能完全分离。综合考虑色谱

分离度和峰形,选择在水相添加0.2%氨水。

2.2.2 色谱柱对色谱分离的影响 如图2和图1(a)所示,HSS T3和BEH C<sub>18</sub>色谱柱满足色谱分离要求,HSS T3色谱柱分离效果相对更优;阿斯巴甜、阿力甜和纽甜在CSH C<sub>18</sub>色谱柱上峰形较差。因此,选择HSS T3色谱柱。

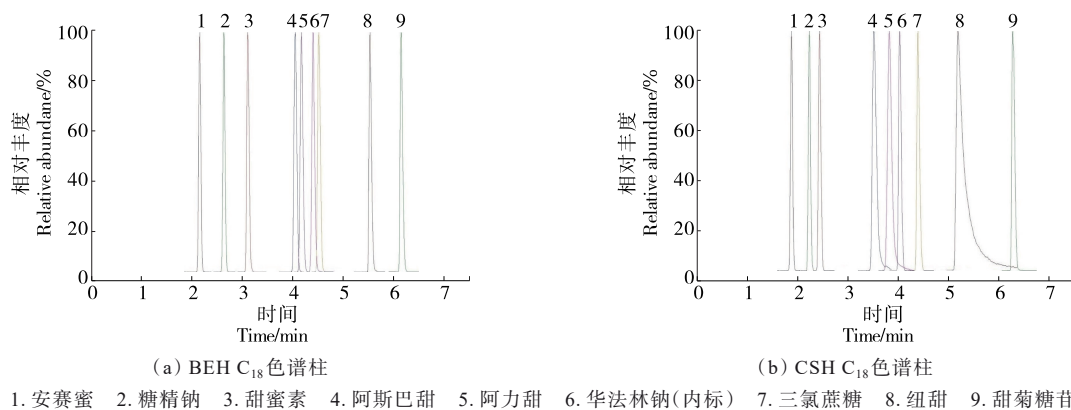
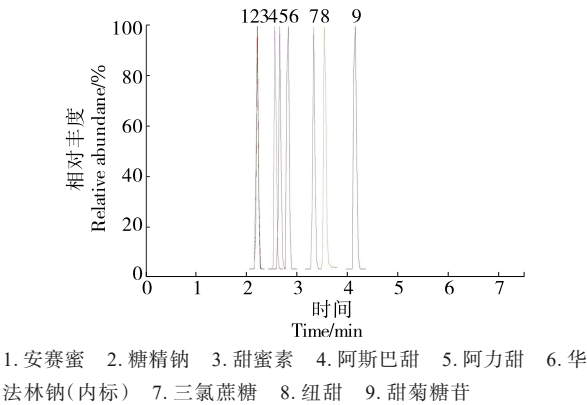


图2 不同色谱柱条件下8种甜味剂的MRM色谱图

Figure 2 MRM chromatograms of eight sweeteners through different columns

2.2.3 有机相对色谱分离的影响 如图 3 和图 1(a)所示,相同的洗脱程序下,乙腈洗脱时糖精钠、安赛蜜和甜蜜素 3 个组分共流出,色谱峰完全重叠;阿斯巴甜、阿力甜和内标也未能实现色谱分离;甲醇洗脱时各组分色谱分离良好,且峰形优于乙腈洗脱。因此,后续试验均采用甲醇为有机相。



1. 安赛蜜 2. 糖精钠 3. 甜蜜素 4. 阿斯巴甜 5. 阿力甜 6. 华法林钠(内标) 7. 三氯蔗糖 8. 纽甜 9. 甜菊糖苷  
图 3 乙腈为有机相洗脱时甜味剂的 MRM 色谱图  
Figure 3 MRM chromatograms of eight sweeteners eluted with acetonitrile as organic phase

2.2.4 流动相添加剂对组分响应的影响 由表 2 可知,以添加甲酸的响应值为对照,水相不添加甲酸或铵盐时 8 种甜味剂响应最大,尤其三氯蔗糖和甜菊糖苷质谱响应显著增加。添加氨水时,除糖精钠响应略有降低外,其余组分响应均优于添加甲酸的,其中阿斯巴甜、三氯蔗糖、甜菊糖苷的质谱响应显著增加。添加甲酸铵时,糖精钠和甜蜜素响应显著降低,安赛蜜响应略有降低,其余组分响应优于添加甲酸的,其中三氯蔗糖、甜菊糖苷的质谱响应增幅明显。可见添加甲酸或铵盐,组分响应均有不同程度降低,与王银辉等<sup>[23]</sup>和杨志敏等<sup>[24]</sup>的研究结果吻合。

表 2 水相不同添加剂对组分响应的影响<sup>†</sup>  
Table 2 Effect of different additives in aqueous phase on component response

| 甜味剂  | 甲酸<br>(0.1%) | 氨水<br>(0.2%) | 水    | 甲酸铵<br>(10 mmol/L) |
|------|--------------|--------------|------|--------------------|
| 安赛蜜  | 1            | 1.7          | 3.1  | 0.9                |
| 糖精钠  | 1            | 0.9          | 2.0  | 0.4                |
| 甜蜜素  | 1            | 1.1          | 1.2  | 0.3                |
| 阿斯巴甜 | 1            | 4.9          | 4.1  | 1.7                |
| 阿力甜  | 1            | 1.8          | 3.3  | 1.6                |
| 三氯蔗糖 | 1            | 44.1         | 53.0 | 4.4                |
| 纽甜   | 1            | 2.1          | 3.0  | 1.7                |
| 甜菊糖苷 | 1            | 22.2         | 21.8 | 3.5                |

<sup>†</sup> 表中数值为相对于添加甲酸的组分响应倍数,即不添加或添加其他组分时甜味剂的峰面积除以添加甲酸时的峰面积。

安赛蜜、糖精钠和甜蜜素以钠盐或钾盐形式存在,在水溶液中均可电离;阿力甜、阿斯巴甜和纽甜是碱性二肽类化合物,在水溶液中也电离。因此水相不添加任何物质时均有较好的质谱响应,但电离后易与色谱柱固定相产生吸附作用,导致峰展变宽,同时色谱分离度变差,见图 1(d)。添加氨水可抑制色谱分离过程中的电离,且不影响组分在质谱电离源中的离子化效率,还能提高分离度和改善峰形,与武艳丽等<sup>[25]</sup>的研究结果相符。因此,后续试验采取在水相添加 0.2% 氨水。

2.3 基质效应考察  
分别以纯溶剂和空白基质配制相同系列的标准溶液,根据相对响应值法评价基质效应。计算各组分基质校准曲线斜率与溶剂校准曲线斜率之比,发现各组分的基质效应系数分别为安赛蜜 0.93、糖精钠 0.95、甜蜜素 0.96、三氯蔗糖 0.93、阿力甜 0.97、阿斯巴甜 0.86、纽甜 0.85、甜菊糖苷 0.89,各组分均表现为基质抑制效应,但基质抑制均不大于 15%,可直接使用溶剂标准曲线内标法进行定量。

2.4 方法学评价  
2.4.1 校准方程及方法定量限 对 8 种甜味剂系列混合标准工作溶液进行测定,每个浓度 3 次进样。以甜味剂质量浓度与内标质量浓度的比值为横坐标,甜味剂响应与内标响应的比值为纵坐标,得到 8 种甜味剂的工作曲线及相关系数。糖精钠和三氯蔗糖在 0.2~20.0 μg/mL 范围内线性良好,其余 6 种甜味剂在 0.1~15.0 μg/mL 范围内线性良好,校准曲线相关系数均大于 0.998。根据最小检测浓度的 3 倍标准偏差和 10 倍标准偏差分别计算检测限和定量限,该方法对 8 种甜味剂的检测限为 0.06~0.32 μg/g,定量限为 0.20~1.00 μg/g,能够满足实际测试需求。

表 3 方法的线性范围与定量限  
Table 3 Linear range and LOQ of the method

| 甜味剂  | 线性范围/<br>(μg·mL <sup>-1</sup> ) | 校准曲线          | 相关<br>系数 | 检出限/<br>(μg·g <sup>-1</sup> ) | 定量限/<br>(μg·g <sup>-1</sup> ) |
|------|---------------------------------|---------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|
| 安赛蜜  | 0.1~15.0                        | y=16.30x-0.14 | 0.998 0  | 0.15                          | 0.50                          |
| 糖精钠  | 0.2~20.0                        | y=11.66x-0.09 | 0.998 4  | 0.18                          | 0.60                          |
| 甜蜜素  | 0.1~15.0                        | y=20.01x-0.16 | 0.998 8  | 0.14                          | 0.45                          |
| 阿斯巴甜 | 0.1~15.0                        | y=2.12x-0.04  | 0.998 2  | 0.32                          | 1.00                          |
| 阿力甜  | 0.1~15.0                        | y=28.03x-0.21 | 0.998 4  | 0.08                          | 0.25                          |
| 三氯蔗糖 | 0.2~20.0                        | y=8.23x-0.08  | 0.998 0  | 0.18                          | 0.60                          |
| 纽甜   | 0.1~15.0                        | y=16.67x-0.11 | 0.998 6  | 0.15                          | 0.50                          |
| 甜菊糖苷 | 0.1~15.0                        | y=18.32x-0.12 | 0.998 2  | 0.06                          | 0.20                          |

2.4.2 方法准确度与精密度 称取空白样品,在 3 个水平上添加甜味剂标准溶液进行回收试验。安赛蜜、糖精钠、甜蜜素、纽甜和三氯蔗糖按 0.6, 1.2, 2.0 μg/g 水平添加,阿

力甜和甜菊糖苷按 0.25, 0.50, 1.00  $\mu\text{g/g}$  水平添加, 阿斯巴甜按 1.0, 2.0, 4.0  $\mu\text{g/g}$  水平添加, 每个处理 6 次重复。按选定的试验方法进行检测分析, 结果见表 4, 加标平均回收率为 85.8%~103.0%, 相对标准偏差为 2.4%~4.6%。方法回收率和精密度均符合测试要求, 能够满足甘草中 8 种甜味剂的含量分析要求。

表 4 方法的回收率与精密度  
Table 4 Recoveries and RSDs of the method

| 甜味剂  | 低浓度     |       | 中浓度     |       | 高浓度     |       |
|------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|      | 平均回收率/% | RSD/% | 平均回收率/% | RSD/% | 平均回收率/% | RSD/% |
| 安赛蜜  | 91.4    | 3.9   | 93.2    | 3.4   | 98.7    | 3.0   |
| 糖精钠  | 88.4    | 4.2   | 92.4    | 3.8   | 98.6    | 2.9   |
| 甜蜜素  | 91.8    | 3.6   | 94.3    | 3.2   | 99.2    | 2.4   |
| 阿斯巴甜 | 90.2    | 4.0   | 93.6    | 3.5   | 98.6    | 2.8   |
| 阿力甜  | 92.2    | 3.7   | 96.4    | 3.1   | 100.2   | 2.5   |
| 三氯蔗糖 | 85.8    | 4.6   | 90.8    | 3.9   | 103.0   | 3.2   |
| 纽甜   | 86.9    | 4.3   | 91.7    | 4.1   | 101.1   | 3.1   |
| 甜菊糖苷 | 88.8    | 3.8   | 93.4    | 3.0   | 99.6    | 2.7   |

2.5 样品分析

分析了 8 份市售甘草甜素样品, 结果见表 5, 其中 3 份样品检出纽甜, 检出率 37.5%, 含量范围 3.50~12.72  $\mu\text{g/g}$ ; 1 份样品检出糖精钠和甜蜜素, 检出率均为 12.5%。目前 GB 2760—2024 尚未明确规定甘草或甘草甜素中甜味剂的使用限量, 但应根据甘草甜素的用途加以管控, 尤其是医用用途必须严格监测和控制添加甜味剂。

表 5 样品检出结果  
Table 5 Detection results of samples  $\mu\text{g/g}$

| 甜味剂  | 样品 1# | 样品 2# | 样品 3# | 样品 4# | 样品 5# | 样品 6# | 样品 7# | 样品 8# |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 安赛蜜  | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     |
| 糖精钠  | /     | /     | /     | /     | /     | 2.75  | /     | /     |
| 甜蜜素  | /     | /     | /     | /     | /     | 3.68  | /     | /     |
| 阿斯巴甜 | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     |
| 阿力甜  | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     |
| 三氯蔗糖 | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     |
| 纽甜   | 12.37 | /     | /     | 12.72 | /     | 3.50  | /     | /     |
| 甜菊糖苷 | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     |

3 结论

建立了超高效液相色谱—串联质谱同时分析甘草甜素中 8 种甜味剂含量的方法, 分别对色谱和质谱条件进行了优化。相比标准方法和相关文献方法, 试验建立方法

在流动相中添加氨水, 有效提高了组分的响应, 改善了组分的峰形。样品基质效应微弱, 可以直接采用标准溶液校准方程定量, 同时采用内标法定量, 比外标法更为准确。样品处理简单快捷, 适用于甘草甜素中 8 种甜味剂的高通量分析, 可为甘草甜素的质控提供技术支持。

参考文献

[1] 郑炯, 黄明发, 张甫生. 甘草甜素的生理功能及其在食品工业中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2007, 18(2): 165-168.  
Zheng J, Huang M F, Zhang F S. The physiological function of glycyrrhizin and its application in food industry[J]. China Food Additives, 2007, 18(2): 165-168.

[2] 余乐天, 曾思慧, 舒莉媛, 等. 甘草提取物作为多功能添加剂的效用评估及安全性分析[J]. 现代食品, 2024, 30(17): 39-41.  
Yu L T, Zeng S H, Shu L Y, et al. Utility assessment and safety analysis of *Glycyrrhiza uralensis* extract as a multifunctional additive[J]. Modern Food, 2024, 30(17): 39-41.

[3] 孙娟, 庄亦心, 胡锋清, 等. 甘草酸作为甜味剂的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(11): 144-148.  
Sun J, Zhuang Y X, Hu Q F, et al. Research progress of glycyrrhizin sweetener[J]. China Food Additives, 2020, 31(11): 144-148.

[4] 陈国宝, 张家蓉. 甘草制品在食品中的应用[J]. 食品安全导刊, 2023(16): 190-192.  
Chen G B, Zhang J R. Application of licorice products in food [J]. China Food Safety Magazine, 2023(16): 190-192.

[5] Szimonetta L, Ingrid T, Joerg J. Health outcomes of non-nutritive sweeteners: analysis of the research landscape[J]. Nutrition Journal, 2017, 16(1): 55.

[6] Silvia R. Investigating the effects of artificial sweeteners[J]. Nature Reviews Endocrinology, 2023, 19(8): 442.

[7] 赵辉, 王鑫璇. 人造甜味剂与人体健康风险[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(6): 15-20.  
Zhao H, Wang X X. Human health risks of artificial sweeteners [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(6): 15-20.

[8] 刘星, 蒙泳, 张言, 等. 食品中常见人工合成甜味剂的基本特征及其对生理代谢的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(14): 5 734-5 741.  
Liu X, Meng Y, Zhang Y, et al. Characteristics of common artificial sweeteners in food and their effects on physiological metabolism[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(14): 5 734-5 741.

[9] 杨小玉, 王玉红, 王彦, 等. 核壳型色谱柱—反相高效液相色谱蒸发光散射检测法同时测定饮料中 5 种人工合成甜味剂[J]. 食品工业科技, 2016, 37(3): 312-316, 322.  
Yang X Y, Wang Y H, Wang Y, et al. Simultaneous determination of five intense sweeteners in beverages by core-shell column-HPLC-ELSD[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(3): 312-316, 322.

[10] Keiko I, Shoichi T, Yoko U, 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, 1 592: 64-70.
- [11] Hee M L, Yang J S, Hea W L, et al. Simultaneous determination of preservatives, artificial sweeteners, and synthetic dyes in kimchi by ultra-performance liquid chromatography electrospray ionization tandem mass spectrometry (UPLC-ESI-MS/MS) [J]. *Analytical Letters*, 2019, 52(16): 2 472-2 483.
- [12] Detry P, Willame P, Van Hoeck E, et al. Development, validation and application of multi-class methods for the analysis of food additives by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry[J]. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2022, 39(8): 1 349-1 364.
- [13] 杨飞, 李中皓, 严俊, 等. UPLC-MS/MS同时测定电子烟烟液中安赛蜜等5种合成甜味剂[J]. *中国烟草学报*, 2019, 25(2): 1-8.
- Yang F, Li Z H, Yan J, et al. Simultaneous determination of 5 synthetic sweeteners in e-liquid by UPLC-MS/MS[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2019, 25(2): 1-8.
- [14] 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): 2 217-2 220.
- Li L P, 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): 2 217-2 220.
- [15] 张苗, 文红, 张啟恒, 等. UPLC-MS/MS法同时测定白酒中8种甜味剂[J]. *食品工业*, 2021, 42(12): 428-431.
- Zhnag M, Wen H, Zhan Q H, et al. Simultaneous determination of 8 sweeteners in liquor by UPLC-MS/MS[J]. *The Food Industry*, 2021, 42(12): 428-431.
- [16] 柯润辉, 王丽娟, 安红梅, 等. 超高效液相色谱—串联质谱法直接测定白酒中8种甜味剂[J]. *酿酒科技*, 2016(5): 107-109, 114.
- Ke R H, Wang L J, An H M, et al. Simultaneous determination of eight sweeteners in Baijiu by UPLC-MS/MS[J]. *Liquor-making Science & Technology*, 2016(5): 107-109, 114.
- [17] 陈凌, 郭艳, 刘路宏, 等. 高效液相色谱—三重四级杆质谱法测定蒸馏酒中14种甜味剂的研究[J]. *酿酒科技*, 2023(2): 107-113.
- Chen L, Guo Y, Liu L H, et al. Determination of 14 sweeteners in distilled spirits by HPLC-MS/MS[J]. *Liquor-making Science & Technology*, 2023(2): 107-113.
- [18] 程水连, 何建国, 卢桂英, 等. 食品中多组分甜味剂和防腐剂同时快速测定方法的建立[J]. *食品与机械*, 2020, 36(1): 88-94.
- Chen S L, He J G, Lu G Y, et al. Establishment of a high-speed method with simultaneous determination of multi-component sweeteners and preservatives in food[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(1): 88-94.
- [19] 廖惠云, 吴洋, 马梦婕, 等. 基质匹配曲线校正-HPLC-MS/MS法同时测定干性食品包装纸中8种甜味剂[J]. *食品科学*, 2021, 42(12): 328-331.
- Liao H Y, Wu Y, Ma M J, et al. Simultaneous determination of eight sweeteners in dry wrapping by using matrix matched solvent calibration-high performance chromatography/tandem mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2021, 42(12): 328-331.
- [20] 张树权, 冯城婷, 林秋凤, 等. 超高效液相色谱—串联质谱法同时检测糕点中6种甜味剂[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(1): 144-150.
- Zhang S Q, Feng C T, LIN Q F, et al. Simultaneous determination of 6 kinds of sweeteners in pastries by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(1): 144-150.
- [21] 汤丽昌, 陈高健, 梁国华. 超高效液相色谱—串联质谱法同时测定食醋、酱油及料酒中的13种甜味剂和防腐剂[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(6): 2 181-2 185.
- Tang L C, Chen G J, Liang G H. Simultaneous determination of 13 preservatives and sweeteners in vinegar, soy sauce and seasoning wine by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(6): 2 181-2 188.
- [22] 周玉, 唐艳荣, 余义, 等. LC-ESI-MS/MS测定白酒中7种甜味剂的方法研究[J]. *酿酒科技*, 2019(1): 60-64.
- Zhou Y, Tang Y R, Yu Y, et al. Detecting of seven sweeteners in Baijiu by LC-ESI-MS/MS[J]. *Liquor-making Science & Technology*, 2019(1): 60-64.
- [23] 王银辉, 田云飞, 关宇, 等. 使用超高效液相色谱串联质谱仪同时测定白酒中7种甜味剂的分析研究[J]. *酿酒*, 2023, 50(1): 84-89.
- Wang Y H, Tian Y F, Guan Y, et al. Determination of 7 sweeteners in Baijiu by HPLC-MS/MS[J]. *Liquor Making*, 2023, 50(1): 84-89.
- [24] 杨志敏, 陈源, 刘淑坡, 等. UPLC-QTOF-MS法直接检测碳酸饮料和茶饮料中8种甜味剂[J]. *实验室研究与探索*, 2022, 41(5): 8-11, 17.
- Yang Z M, Chen Y, Liu S P, et al. Determination of 8 sweeteners in drinks by direct analysis by ultra performance liquid chromatography-mass spectrometry (UPLC-QTOF-MS) [J]. *Research and Exploration in Laboratory*, 2022, 41(5): 8-11, 17.
- [25] 武艳丽, 刘石雪, 王秀菊, 等. UPLC-MS/MS的“PICs”功能在分析浓香型白酒5种人造甜味剂中的应用及数据库建立[J]. *酿酒科技*, 2024(7): 25-32.
- Wu Y L, Liu S X, Wang X J, et al. Application of PICs function of UPLC-MS/MS in the detection of 5 kinds of artificial sweeteners in Nongxiang Baijiu and establishment of database[J]. *Liquor-making Science & Technology*, 2024(7): 25-32.