

# 基于气相色谱法的甜蜜素含量新旧国家标准测定方法对比研究

师新彩<sup>1</sup>，周 芹<sup>1</sup>，李艺凡<sup>1</sup>，艾吉木<sup>2</sup>

(1.乌兰察布市检验检测中心，内蒙古乌兰察布 012000；2.乌兰察布市农畜产品质量安全中心，内蒙古乌兰察布 012000)

**摘 要：**[目的]通过市场调查，探究甜蜜素在饮料、风味发酵乳中的使用情况，从标准条文和结果测定两个维度，对气相色谱法测定甜蜜素含量的新旧国家标准方法进行比较分析，进而归纳总结试验注意事项，以期为检验人员提供参考。[方法]本研究于内蒙古自治区乌兰察布市集宁区开展市场调查，采用气相色谱法测定甜蜜素含量。为探究储存条件对甜蜜素稳定性的影响，试验对常温和冷藏两种储存条件下样品中甜蜜素含量的变化进行了测定和对比研究。[结果]约37%风味发酵乳中含有甜味剂；约47%饮料中含有甜味剂，其中甜蜜素的使用占比第三。新旧国家标准对其的检测结果差异不显著，最高检出值为0.509 g/kg，所测样品均合格。待测液在常温及冷藏条件下存储14 d后，其检测值变化较小，最大变异系数仅为2.13%，两种存储条件下无显著性差异 ( $P>0.05$ )。[结论]新国家标准简化了操作步骤，缩短了检测时间，降低了对检验人员的要求，为测定类标准的更新提供了良好范例。待测液可稳定存储14 d，在常温和冷藏存储条件下无显著性差异，为甜蜜素含量的日常检测提供了参考。

**关键词：**甜蜜素；气相色谱法；甜味剂；标准

文章编号：1671-4393 (2026) 05-0086-10

DOI:10.12377/1671-4393.26.05.13

## Comparative Study on the Determination Methods of Sodium Cyclamate Content According to the Old and New National Standards Based on Gas Chromatography Technique

SHI Xincal<sup>1</sup>，ZHOU Qin<sup>1</sup>，LI Yifan<sup>1</sup>，Aijimu<sup>2</sup>

(1.Ulanqab Inspection and Testing Center，Ulanqab Inner Mongolia 012000；2.Ulanqab Agricultural and Livestock Product Quality and Safety Center，Ulanqab Inner Mongolia 012000)

**作者简介：**师新彩（1993-），女，山东济宁人，硕士，工程师，研究方向为食品检验；  
周 芹（1985-），女，河北保定人，硕士，工程师，研究方向为食品检验；  
李艺凡（1993-），女，宁夏吴忠人，硕士，工程师，研究方向为产品质量检验及标准化应用；  
艾吉木（1994-），女，内蒙古乌兰察布人，蒙古族，硕士，工程师，研究方向为农产品质量安全、农业净碳排放。

**Abstract:** [Objective]This study aimed to investigate the usage of sodium cyclamate in beverages and flavored fermented milk through market research. The study compared and analyzed the new and old national standards for the determination of sodium cyclamate content using gas chromatography, and summarized the test precautions to provide reference for inspectors.[Method]This study conducted a market survey in Jining District, Ulanqab City, Inner Mongolia Autonomous Region, using gas chromatography to determine the sodium cyclamate content.To explore the impact of storage conditions on the stability of sodium cyclamate, the changes in sodium cyclamate content in samples under normal temperature and refrigeration conditions were measured and compared.[Result]Market research has found that about 37% of flavored fermented milk contains sweeteners. Approximately 47% of beverages contained sweeteners, with sodium cyclamate usage accounting for the third. There was no significant difference in the detection results of the new and old national standards. The highest detected value was 0.509 g/kg, and all tested samples were qualified. After 14 days of storage at normal temperature and refrigeration conditions, the detection values of the tested liquid changed slightly, with the maximum coefficient of variation being only 2.13%, and there was no significant difference between the two storage conditions ( $P>0.05$ ). [Conclusion]The new national standard simplifies the operation steps, shortens the detection time, and reduces the requirements for inspectors, providing a good example for the update of similar standards.The tested liquid can be stored stably for 14 days, and there was no significant difference in storage conditions at normal temperature and refrigeration, providing a reference for the daily detection of sodium cyclamate content in beverages.

**Keywords:** sodium cyclamate; gas chromatography; sweetener; standard

甜味剂是赋予食品甜味的物质。人工甜味剂对人体的影响存在个体差异,其长期大量摄入对健康可能产生的潜在影响已逐渐引发广泛关注<sup>[1]</sup>。目前尚无确凿证据表明非糖甜味剂的摄入会增加机体代谢紊乱的风险,但这并不意味着其安全性已得到充分证实<sup>[2]</sup>。甜蜜素(又名“环己基氨基磺酸钠”)作为应用较早的人工合成甜味剂,其甜度是蔗糖的30~40倍,被广泛应用于各类食品中。甜蜜素几乎不参与体内代谢,绝大部分以原型代谢排出,极少量由肠道微生物代谢产生环己胺排出<sup>[1]</sup>。慢性胃炎合并幽门螺杆菌感染可促进甜蜜素在体内代谢为环己胺<sup>[3]</sup>。关于甜蜜素是否具有致癌性,目前尚存争议<sup>[4]</sup>。研究证实,甜蜜素对成骨细胞的增殖和分化有显著的抑制作用<sup>[5]</sup>,可能诱发DNA损伤<sup>[6]</sup>。甜蜜素的摄入以时间和剂量依赖性的方式影响与代谢功能

相关的生化参数<sup>[7]</sup>,还会导致大鼠食物摄入量和体重增加<sup>[8]</sup>。在对果蝇模型中,甜蜜素对其繁殖力、个体发育<sup>[9]</sup>和运动能力均有一定负面影响<sup>[10]</sup>。然而,在低浓度给药时,甜蜜素表现出调节惊厥阈值的潜在能力<sup>[11]</sup>。此外,甜蜜素还是一种新兴污染物<sup>[12]</sup>。我国《GB 2760—2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》<sup>[13]</sup>对食品中甜蜜素最大使用限量作出了严格规定。新版《GB 2760—2024 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》<sup>[14]</sup>纳入了自标准实施以来,由国家卫生健康委员会以公告形式批准使用的各类食品添加剂品种及其使用规定,其收录范围截至《关于文冠果种仁等8种“三新食品”的公告》(2023年第5号)。近年来,甜蜜素的应用越来越广泛,但果蔬汁(浆)、浓缩果蔬汁(浆)中的使用已被禁止。《关于金花茶培养物等11种“三新食

品”的公告》（2024年第6号）<sup>[15]</sup>扩大了甜蜜素的应用范围，批准其添加至风味发酵乳、魔芋凝胶制品中，为乳品行业的生产实践与产品开发带来了新变化。甜蜜素在风味发酵乳中最大允许使用量为0.65 g/kg（以环己基氨基磺酸计）。随着甜蜜素作为食品添加剂获得批准使用，相关的食品安全监管体系也随之强化。《食品安全监督抽检实施细则（2025年版）》相较于2024年版，新增了甜蜜素（以“环己基氨基磺酸”计）的检测项目。相应地，乳品企业应加强对甜蜜素安全应用的内部质量控制管理。多家乳品企业含有饮料生产线，饮料中甜蜜素的最大允许使用量同样为0.65 g/kg，应当对甜蜜素的国家标准测定方法更新予以关注。各检验检测机构应及时更新测定方法。

甜蜜素的国家标准测定方法更新换代，《GB 5009.97—2023 食品安全国家标准 食品中环己基氨基磺酸盐的测定》<sup>[16]</sup>于2023年9月发布，并自2024年3月起实施。相较于《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》<sup>[17]</sup>，新标准修订了标准名称、适用范围、前处理方法、仪器条件和参数、第三法定量方式。标准名称由“环己基氨基磺酸钠的测定”修改为“环己基氨基磺酸盐的测定”，所测定的均为试样中环己基氨基磺酸含量。GB 5009.97—2023<sup>[16]</sup>与GB 2760—2024<sup>[14]</sup>为配套标准。GB 2760—2014<sup>[13]</sup>和GB 2760—2024<sup>[14]</sup>均包含环己基氨基磺酸的钠盐和钙盐。在GB 2760—2024<sup>[14]</sup>中，甜蜜素（环己基氨基磺酸钠）与环己基氨基磺酸钙分别被赋予独立的CNS号，而不再沿用先前版本中统一的CNS号（952）。本次市场调查未发现配料表中标示使用环己基氨基磺酸钙的饮料，但存在标示“952”的饮料。GB 2760—2024<sup>[14]</sup>针对第一法气相色谱法的适用范围进行了修订，不再依据使用范围限定具体使用范围的食品类别，扩展了该法的适用范围，提升了标准前瞻性。新版标准将适用范围排除对象由白酒扩展至所有含乙醇的食品，据此，在“5.1试样制备”部分相应删除了针对含酒精试样的处理方法。

本研究于内蒙古自治区乌兰察布市集宁区进行市场调查，通过查看标签统计甜味剂，尤其是甜蜜素的应用情况，并抽取样品进行含量检测，了解甜蜜素在饮料、风味发酵乳中的使用情况。甜蜜素含量测定的国家标准已进行修订，新标准相较旧标准存在显著差异。本研究从标准条文与测定结果两个维度，对气相色谱法测定甜蜜素的新旧国家标准方法进行了比较分析，提出了检验注意事项，旨在为相关检验人员提供参考。同时，本研究测定了常温和冷藏两种储存条件下甜蜜素的含量，探究了不同储存条件下其含量的变化，以期在日常检测工作提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

选取市售风味发酵乳30个，标签标示含甜蜜素的不同种类液体饮料31个。饮料/饮品/风味发酵乳中甜蜜素、糖精钠定量分析质控样品：甜蜜素（特性值：0.108 g/kg，特性值区间0.093 5~0.122 g/kg），检科院（北京）科学技术有限公司；甜蜜素（纯度99.9%），坛墨质检标准物质中心；正庚烷（色谱纯），上海安谱实验科技股份有限公司；亚硝酸钠（优级纯），福晨（天津）化学试剂有限公司；硫酸（优级纯），成都市科隆化学制品有限公司；氯化钠（优级纯），天津市光复科技发展有限公司。

### 1.2 仪器与设备

BSA223S电子天平（感量1 mg）、BSA224S-CW电子天平（感量0.1 mg），赛多利斯科学仪器（北京）有限公司；GC-2010 Plus气相色谱仪，岛津企业管理（中国）有限公司；DB-17毛细色谱柱（30 m×0.25 mm，0.25 μm），美国Agilent Technologies公司；Allegra X-30R离心机，美国贝克曼库尔特公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 市场调查

于2024年5—7月及2026年4月期间，本研究对内蒙古自治区乌兰察布市2家大型超市、6家小型超市以及2家餐饮门店通过现场查验产品标签的方式，系

统统计了饮料及风味发酵乳两类食品中甜味剂的标签标示使用。本研究重点考察了甜蜜素在风味发酵乳中获准使用1年后的实际应用现状。

1.3.2 新旧国家标准测定方法的对比分析

依据GB 5009.97—2023<sup>[16]</sup>与GB 5009.97—2016<sup>[17]</sup>标准方法，对31份待测样品及质控样品分别执行标准溶液配制、试样前处理及结果计算流程。

色谱条件：DB-17毛细色谱柱（30 m×0.25 mm，0.25 μm）；升温程序：初温50℃，保持3 min，以10℃/min升至70℃，保持0.5 min，以30℃/min升至220℃，保持3 min；载气为高纯氮气，流速1.0 mL/min，进样量1.0 μL；分流比30：1；进样口温度230℃，检测器温度260℃。

1.3.3 不同储存条件下样品中甜蜜素含量变化分析

依据GB 5009.97—2023<sup>[16]</sup>标准，选取7份样品进行提取，并分装于进样小瓶中，分别置于常温及冷藏条件下储存。分别于第0、1、2、3、5、7、14 d进行上机分析。在常温储存条件下，所有7次检测均使用同一进样小瓶中的待测溶液。冷藏条件下，前3次检测分别使用不同进样小瓶中的待测溶液，自第3d起，后续检测均使用同一进样小瓶中的待测溶液。第1d与第2d的检测过程中，冷藏与常温储存的进样小瓶同时置于自动进样器上；此后，冷藏储存小瓶每次在常温环境中的放置时间约为1 h。标准曲线于第0 d与样品同步处理并上机测定，所有检测均采用第0 d建立的标准曲线进行定量分析。采用单因素方差分析法比较常温与冷藏条件下甜蜜素含量的差异，以 $P<0.05$ 作为判定差异具有统计学显著性的标准。

1.4 数据处理

气相色谱工作站通过整合环己醇亚硝酸酯与环己醇的色谱峰面积，并依据外标法自动计算待测组分的质量浓度。计算过程分别参照GB 5009.97—2023<sup>[16]</sup>与GB 5009.97—2016<sup>[17]</sup>标准的规定执行，最终结果以重复性条件下两次独立测定结果的算术平均值予以表征。数据分析采用SPSS 19软件进行F检验。

2 结果与分析

2.1 市场调查结果

本研究通过市场调查发现，甜味剂在饮料产品中的应用较为普遍。本次调查共采集饮料样本1 153个，其中进口饮料142个，因不在统计范围内予以剔除，最终有效样本共计1 011个。统计分析结果如图1及表1、表2所示。在全部有效样本中，添加甜味剂的饮料产品共计476个，占总样本量的47.08%。多数产品仅添加1种（176个）或2种（199个）甜味剂；添加甜味剂种类最多的产品达到4种，但数量极少（3个）。甜蜜素单独使用的情况较少（7个），其多与其他甜味剂复配使用，其中以3种甜味剂复配的情形最为常见（50个），2种复配次

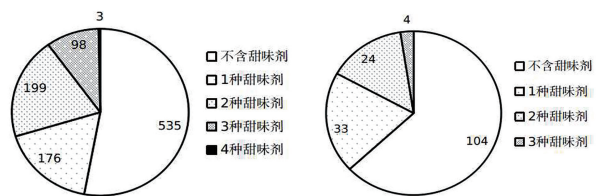


图 1 饮料和风味发酵乳中甜味剂使用种类统计情况  
Figure 1 Statistical Analysis of Sweetener Usage in Beverages and Flavored Yogurt

表 1 饮料和风味发酵乳中各种甜味剂使用情况统计结果

| 甜味剂名称                                            | 数量（个） |       |
|--------------------------------------------------|-------|-------|
|                                                  | 饮料    | 风味发酵乳 |
| 三氯蔗糖（又名“蔗糖素”）                                    | 305   | 51    |
| 乙酰磺胺酸钾（又名“安赛蜜”）                                  | 256   | 7     |
| 环己基氨基磺酸钠（又名“甜蜜素”），<br>环己基氨基磺酸钙                   | 94    | 0     |
| 赤藓糖醇                                             | 76    | 4     |
| 甜菊糖苷                                             | 55    | 5     |
| 天门冬酰苯丙氨酸甲酯（又名阿斯巴甜）                               | 43    | 0     |
| N-[N-（3，3-二甲基丁基）]-L-α-天门<br>冬氨-L-苯丙氨酸 1-甲酯（又名纽甜） | 19    | 0     |
| 麦芽糖醇和麦芽糖醇液                                       | 11    | 7     |
| 木糖醇                                              | 11    | 19    |
| 山梨糖醇和山梨糖醇液                                       | 6     | 0     |
| 异麦芽酮糖                                            | 1     | 0     |
| 罗汉果甜苷                                            | 1     | 0     |

之（35 个）。由表1可知，三氯蔗糖的应用最为广泛，共有305 个产品添加了该甜味剂，占含甜味剂产品总数的64.08%；其次为安赛蜜，涉及产品256 个（53.78%）；甜蜜素位列第三，使用产品数为94 个（19.75%）。

| 表 2 饮料中甜蜜素使用统计结果                                                   |                   |       |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|-------|
| Table 2 Statistical Results of Sodium Cyclamate Usage in Beverages |                   |       |
| 种类                                                                 | 甜味剂名称             | 数量(个) |
| 1                                                                  | 甜蜜素               | 7     |
|                                                                    | 甜蜜素、安赛蜜           | 29    |
|                                                                    | 甜蜜素、纽甜            | 3     |
|                                                                    | 甜蜜素、三氯蔗糖          | 2     |
|                                                                    | 甜蜜素、阿斯巴甜          | 1     |
| 2                                                                  | 甜蜜素、安赛蜜、阿斯巴甜      | 25    |
|                                                                    | 甜蜜素、安赛蜜、三氯蔗糖      | 25    |
| 3                                                                  | 甜蜜素、安赛蜜、三氯蔗糖、甜菊糖苷 | 1     |
|                                                                    | 甜蜜素、安赛蜜、阿斯巴甜、三氯蔗糖 | 1     |

本研究共采集风味发酵乳样本165 个，统计分析结果如图1与表1所示。其中，添加甜味剂的产品共计61 个，占总样本量的37%。多数风味发酵乳产品仅添加1 种（33 个）或2 种（24 个）甜味剂，添加3 种甜味剂的产品数量较少（4 个）。与饮料行业情况类似，三氯蔗糖在风味发酵乳中的应用最为广泛，占有所有添加甜味剂产品的84%。本次调查于甜蜜素获准使用一年后开展，未在风味发酵乳样本中发现甜蜜素的使用；对30 个样本进行的实验室检测结果亦均为未检出。鉴于该添加剂获批使用时间尚短，未来上市的新产品可能存在添加情况，建议相关监管部门持续开展监测工作。

中国是全球高倍甜味剂最主要的产能国与消费市场，其中甜蜜素的消费规模居于世界首位<sup>[18]</sup>。甜蜜素的甜味感知呈现缓起效、长持续的特征，其甜味品质纯正，风味自然且无异味残留<sup>[19]</sup>。如表2所示，本调研数据显示，含甜蜜素的饮料中多数同时含有安赛蜜。安赛蜜与甜蜜素均为食品加工领域广泛应用的合成甜味剂<sup>[20]</sup>，二者同属磺胺类甜味剂家

族，但安赛蜜常伴随苦味、金属味及化学异味<sup>[21]</sup>。相比之下，甜蜜素无明显的苦涩后味，常被用于提升非酒精饮料的甜度，并常与糖精复配以改善整体甜味口感<sup>[22]</sup>。研究表明，甜蜜素可有效阻断介导糖精苦味的异味受体，而糖精亦能抑制由甜蜜素激活的苦味受体通路<sup>[23]</sup>。甜蜜素的相对甜度低于安赛蜜，二者混合使用可有效掩盖安赛蜜的不良风味。总体而言，甜蜜素的使用安全性较高。然而，有研究报告指出，对北京市900 份中小學生尿液样本的检测均检出甜蜜素，部分高暴露儿童的每日估计摄入量（EDI）已超过每日允许摄入量（ADI），提示存在潜在健康风险<sup>[24]</sup>。南京市居民的甜蜜素暴露水平总体处于安全范围<sup>[25]</sup>，但儿童在高百分位摄入量下可能接近或略高于ADI值<sup>[20]</sup>。湖北<sup>[18]</sup>及其他地区<sup>[26, 27]</sup>的研究表明，通过饮料途径摄入甜蜜素的健康风险总体较低，处于可接受水平。当前，甜蜜素及其他甜味剂预计仍将被长期、大量使用。已有研究显示，甜蜜素对肝脏的损伤呈现出明确的剂量-效应与时间-效应关系<sup>[28]</sup>，因此需对其安全应用实施严格管控。近年来，甜蜜素的应用范围持续扩展，对检验检测从业人员而言，其检测任务可能贯穿整个职业周期。甜蜜素国家标准测定方法的更新将为日常工作带来新的变化，业界普遍期待更为简便、高效的检测方法。

2.2 新旧国家标准测定方法的对比分析及检验检测注意事项

如表3所示，新旧国家标准检测结果差异不显著，相对差异率最大值为10.2%，但新标准检测值普遍高于旧标准。质控样品测定结果均处于特性值允许区间内。新标准对精密度的要求由10%放宽至15%，这可能与取样量减少有关，但方法检出限与定量限均未发生改变。依据现行食品安全标准，饮料中甜蜜素的最大使用限量为0.65 g/kg，本次检测最高值为0.509 g/kg，所有样品均符合规定。其中，编号18与19样品为同一委托生产商产品，编号24与25样品为同一生产商产品，其甜蜜素检测值均较为接近。这表明当前甜蜜素在食品工业中的应用已较

表 3 新旧国家标准检测结果比较

Table 3 Comparison of Test Results between New and Old National Standards

| 编号 | 2023 版检测<br>结果 (g/kg) | 2016 版检测<br>结果 (g/kg) | 相对差异<br>率 (%) | 甜味剂个<br>数 (个) | 编号 | 2023 版检测<br>结果 (g/kg) | 2016 版检测<br>结果 (g/kg) | 相对差异<br>率 (%) | 甜味剂数<br>量 (个) |
|----|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------|----|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| 1  | 0.390                 | 0.373                 | 4.5           | 2             | 17 | 0.260                 | 0.241                 | 7.6           | 2             |
| 2  | 0.186                 | 0.168                 | 10.2          | 3             | 18 | 0.275                 | 0.249                 | 9.9           | 1             |
| 3  | 0.497                 | 0.481                 | 3.3           | 1             | 19 | 0.269                 | 0.252                 | 6.5           | 1             |
| 4  | 0.321                 | 0.310                 | 3.5           | 3             | 20 | 0.088                 | 0.081                 | 8.0           | 2             |
| 5  | 0.509                 | 0.496                 | 2.6           | 3             | 21 | 0.273                 | 0.255                 | 6.8           | 4             |
| 6  | 0.461                 | 0.454                 | 1.5           | 3             | 22 | 未检出                   | 未检出                   | /             | 2             |
| 7  | 0.374                 | 0.356                 | 4.9           | 2             | 23 | 0.059                 | 0.055                 | 6.3           | 4             |
| 8  | 0.392                 | 0.378                 | 3.6           | 3             | 24 | 0.328                 | 0.299                 | 9.3           | 3             |
| 9  | 0.160                 | 0.157                 | 1.9           | 2             | 25 | 0.327                 | 0.300                 | 8.6           | 3             |
| 10 | 0.377                 | 0.362                 | 4.1           | 1             | 26 | 0.222                 | 0.208                 | 6.5           | 3             |
| 11 | 0.083                 | 0.075                 | 9.4           | 2             | 27 | 0.183                 | 0.171                 | 6.8           | 3             |
| 12 | 0.274                 | 0.264                 | 3.7           | 2             | 28 | 0.154                 | 0.149                 | 3.3           | 3             |
| 13 | 0.163                 | 0.157                 | 3.8           | 2             | 29 | 0.384                 | 0.386                 | -0.5          | 2             |
| 14 | 0.451                 | 0.433                 | 4.1           | 3             | 30 | 0.127                 | 0.125                 | 1.6           | 3             |
| 15 | 0.079                 | 0.073                 | 7.4           | 2             | 31 | 0.198                 | 0.211                 | -6.4          | 3             |
| 16 | 0.211                 | 0.197                 | 6.9           | 2             | 质控 | 0.112                 | 0.106                 | 5.5           |               |

注：相对差异率=（2023版检测结果-2016版检测结果）/平均值×100%

为规范，其使用量控制较为严格。综合表3与表4数据，饮料中甜蜜素的使用量分布较为均匀，其使用水平与产品中甜味剂种类数量无显著关联。

表 4 饮料中甜蜜素含量统计结果

Table 4 Statistical Results of Sodium Cyclamate Content in Beverages

| 含量 X (g/kg) | 样品个数 (个) |
|-------------|----------|
| X ≤ 0.1     | 5        |
| 0.1<X ≤ 0.2 | 7        |
| 0.2<X ≤ 0.3 | 7        |
| 0.3<X ≤ 0.4 | 8        |
| X>0.4       | 4        |

新版国家标准（GB 5009.97—2023<sup>[16]</sup>）对实验试剂与材料的纯度作出了更严格的要求，具体表现为实验用水由二级水提升至一级水，正庚烷由分析纯规格变更为色谱纯规格。标准品环己基氨基磺酸钠与环己基氨基磺酸的换算系数由0.890 9修订为0.890 7，其配制浓度也相应调整，但新标准未明确给出具体称样量。样品前处理流程中新增过滤步骤，需配备0.45 μm有机相滤膜及注射器。液态试样制备流程发生变更：含二氧化碳试样需先经超声处

理去除气泡后再行称量，此与旧标准中先称量后脱气的操作顺序相反。新标准大幅降低了饮料类样品的取样量，由25 g缩减至2 g，此举对试样的均匀性提出了更高要求。为此，标准增补了非均匀液态试样的制备方法，目视均匀的含颗粒饮料亦需经匀浆处理后进行检测，以确保所称试样的代表性，这是保障实验精密度的关键环节。相应地，对电子天平的精度要求也有所调整，更侧重于2 g量级的准确称量。前处理过程中增加了提取与空白试验步骤，须严格依照新标准空白对照。衍生化操作简化了分取流程，有效解决了部分黏稠或流动性不佳液体试样取量不准的技术难题。衍生化反应条件发生变更：冰浴时间由5 min延长至10 min；正庚烷用量由5 mL增加至10 mL；亚硝酸钠溶液与硫酸溶液用量均加倍，故相关试剂的配制量也相应倍增。实验步骤中取消了氯化钠的添加环节，减少了开盖操作，离心时间缩短为3 min，并引入了无水乙醇破乳法，仅需加入一滴即可显著提升破乳效率，从而大幅缩短整体实验周期。新标准删除了待测液需冷藏保存的规

定，本研究数据也证实无需冷藏处理（表5）。标准溶液的配制流程得以简化，减少了标准系列工作液的定容与分取步骤，在节约标准品耗用量的同时，降低了对检验人员操作技能的要求。工作液的浓度、单位及最终结果计算公式均发生相应变更。气相色谱分析条件亦有所调整，色谱柱更换为中等极性色谱柱。该类型色谱柱对脱氢乙酸、对羟基苯甲酸酯类、苯甲酸、山梨酸等常见食品添加剂具备良好的分离效能，但其选择性相对有限。在甜蜜素的检测中，由于衍生化步骤的引入，色谱图中干扰峰显著减少，杂质峰相对固定，干扰程度较低。实际

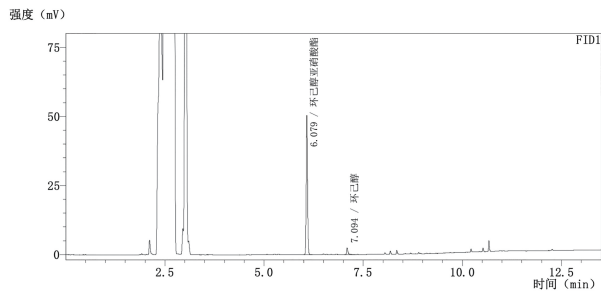


图 2 环己基氨基磺酸标准溶液衍生物气相色谱图  
Figure 2 Gas Chromatogram of Derivatives of Cyclohexylamino Sulfonic Acid Standard Solution

检测结果表明，30 个风味发酵乳样品在目标物出峰位置均未观察到干扰峰，证实该气相色谱方法可有效应用于风味发酵乳中甜蜜素的检测。环己基氨基磺酸标准溶液衍生物的气相色谱图见图2。

本研究为标准方法的优化提供了新思路。将试样处理流程由传统的过滤、定容、分取，调整为减少取样量并相应增加试剂用量。分析结果表明，该试验的关键控制点在于：使用有证标准物质<sup>[29, 30]</sup>，确保试样的均匀性，同时，2 g取样量需精确至0.001 g，并准确控制10 mL正庚烷的加入量。

新标准未明确规定标准品的具体称样量，需由检验人员自行计算。对于液体试样的制备，若试样中含有二氧化碳，需先经超声处理以去除气泡后再进行称量，但标准中未明确气泡是否已完全去除的判定依据，建议予以补充。试剂用量增至原方案的两倍，导致总体积显著增大，几乎充满反应管，致使涡旋混合操作难度增加，因此可能需要购置专用设备。此外，冰浴所需用冰量相应增加。开启反应管盖时酸雾释放明显，对金属部件具有腐蚀性，且可能对操作人员健康构成潜在风险，建

表 5 饮料中甜蜜素含量变化  
Table 5 Changes in Sodium Cyclamate Content in Beverages

| 编号 | 状态 | 0 d<br>(g/kg) | 1 d<br>(g/kg) | 2 d<br>(g/kg) | 3 d<br>(g/kg) | 5 d<br>(g/kg) | 7 d<br>(g/kg) | 14 d<br>(g/kg) | 变异系数<br>(%) | F     | 显著性   |
|----|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-------------|-------|-------|
| 9  | 常温 | 0.160         | 0.164         | 0.165         | 0.161         | 0.162         | 0.163         | 0.155          | 1.58        | 0.542 | 0.477 |
|    | 冷藏 | /             | 0.162         | 0.161         | 0.162         | 0.165         | 0.162         | 0.163          |             |       |       |
| 11 | 常温 | 0.083         | 0.082         | 0.079         | 0.081         | 0.080         | 0.081         | 0.080          | 1.91        | 0.844 | 0.378 |
|    | 冷藏 | /             | 0.085         | 0.080         | 0.080         | 0.081         | 0.082         | 0.081          |             |       |       |
| 15 | 常温 | 0.079         | 0.080         | 0.078         | 0.078         | 0.079         | 0.078         | 0.078          | 0.92        | 2.030 | 0.182 |
|    | 冷藏 | /             | 0.078         | 0.079         | 0.079         | 0.079         | 0.079         | 0.078          |             |       |       |
| 20 | 常温 | 0.088         | 0.086         | 0.088         | 0.088         | 0.087         | 0.086         | 0.086          | 1.19        | 0.186 | 0.675 |
|    | 冷藏 | /             | 0.087         | 0.085         | 0.089         | 0.088         | 0.088         | 0.087          |             |       |       |
| 23 | 常温 | 0.059         | 0.059         | 0.058         | 0.061         | 0.062         | 0.059         | 0.061          | 2.13        | 3.045 | 0.109 |
|    | 冷藏 | /             | 0.062         | 0.060         | 0.060         | 0.061         | 0.062         | 0.061          |             |       |       |
| 30 | 常温 | 0.127         | 0.131         | 0.129         | 0.127         | 0.130         | 0.129         | 0.129          | 0.84        | 0.249 | 0.628 |
|    | 冷藏 | /             | 0.130         | 0.129         | 0.129         | 0.129         | 0.129         | 0.129          |             |       |       |
| 31 | 常温 | 0.198         | 0.200         | 0.200         | 0.200         | 0.201         | 0.199         | 0.200          | 0.40        | 0.391 | 0.545 |
|    | 冷藏 | /             | 0.200         | 0.200         | 0.200         | 0.201         | 0.199         | 0.200          |             |       |       |

注：待测液于第0d 完成提取，分装于进样小瓶中并储存以备检测。在常温储存条件下，采用两个独立进样小瓶进行连续检测。在冷藏储存条件下，前3 d检测分别使用不同进样小瓶，自第3d样品回收后，改为同一进样小瓶的连续检测，下同；变异系数=标准偏差/算术平均值×100%

议在通风橱内进行操作，但现行标准中未包含相关安全警示说明。

2.3 不同储存条件下甜蜜素含量的变化分析

表5显示，待测样品在常温与冷藏条件下储存14 d（储存期间更换进样瓶盖）后，其检测值波动较小，7个样本的变异系数最大值仅为2.13%。经F检验分析，常温与冷藏储存条件下的甜蜜素含量无统计学显著差异（ $P>0.05$ ）。在常规实验操作中待测液可储存14 d；当样本数量较多或遭遇突发状况时，可于常温环境下暂存以待进样分析。实验过程中观察到，由于程序升温时间较短，采用DB-17毛细管色谱柱（30 m×0.25 mm，0.25 μm）在流速1.0 mL/min条件下，部分杂质峰未能完全洗脱，建议色谱条件下将高温阶段延长2 min。

根据表6所示数据，尽管甜蜜素的检测值波动幅度有限，即环己醇亚硝酸酯与环己醇两峰面积之和保持相对稳定，但环己醇的峰面积比例呈现显著变化。在冷藏条件下，前3 d所测样品分别储存于不同进样小瓶中，自第3d起对同一待测液进行连续检测。不同存储小瓶间的检测结果存在差异，部分样品甚至出现环己醇亚硝酸酯无法检出的情况，例如编号15的样品。已有研究显示，在甜蜜素检测过程

中，主峰环己醇亚硝酸酯的响应值逐渐降低，而次峰环己醇的响应值则逐步升高，这一现象可能对定量分析结果产生影响<sup>[31]</sup>。本研究结果表明，环己醇峰面积比例虽发生变化，但并未对定量结果的准确性构成显著影响（表6）。本研究为初步验证性工作，后续可通过扩大样本量以进一步验证上述结论。

新标准的实施简化了操作流程，缩短了检测周期，并降低了对检验人员的技术要求。尽管仍存在可优化空间，但其整体设计显著提升了检验检测的效率。鉴于甜蜜素甜度较低，其在食品工业中常与其他甜味剂复配使用，多种甜味剂之间存在显著的协同增效效应<sup>[32]</sup>。此外，食品风味构成不仅限于甜味，通常需与咸味、苦味及酸味相互协调；例如，甜味与酸味的协同作用能赋予食品独特的风味特征<sup>[33]</sup>。我国食品甜味剂的应用常呈现多元组合模式，其中三元及四元组合的累积风险评估结果总体较低。然而，若按最大使用量进行联合添加，此类组合所带来的健康风险可达单一甜味剂使用时的两倍<sup>[34]</sup>。针对甜味剂的混合使用，现行法规已作出相应规定。例如，GB 2760—2024<sup>[14]</sup>明确规定，当天门冬酰苯丙氨酸甲酯乙酰磺胺酸在允许使用阿斯巴甜或安赛蜜的食品类

表 6 环己醇峰面积比变化  
Table 6 Changes in Peak Area Ratio of Cyclohexanol

单位：%  
Unit: %

| 编号 | 状态 | 0 d  |      | 1 d   |       | 2 d  |      | 3 d  |       | 5 d  |       | 7 d  |       | 14 d  |       |
|----|----|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 9  | 常温 | 10.3 | 12.9 | 19.3  | 19.7  | 13.6 | 20.5 | 15.7 | 16.9  | 18.3 | 20.0  | 20.9 | 21.8  | 26.4  | 27.2  |
|    | 冷藏 | /    |      | 15.8  | 37.1  | 21.1 | 22.1 | 22.6 | 22.6  | 19.7 | 20.0  | 17.4 | 17.1  | 15.9  | 17.2  |
| 11 | 常温 | 6.3  | 7.8  | 12.8  | 13.8  | 14.5 | 13.8 | 17.6 | 17.8  | 17.7 | 18.7  | 22.1 | 21.7  | 28.1  | 26.3  |
|    | 冷藏 | /    |      | 23.2  | 16.9  | 22.8 | 24.7 | 18.7 | 14.2  | 21.9 | 16.4  | 23.4 | 18.6  | 25.5  | 19.1  |
| 15 | 常温 | 6.6  | 5.4  | 50.7  | 58.0  | 63.3 | 69.1 | 69.2 | 75.8  | 81.2 | 84.6  | 87.9 | 90.4  | 100.0 | 96.4  |
|    | 冷藏 | /    |      | 100.0 | 100.0 | 26.6 | 44.4 | 16.7 | 100.0 | 20.9 | 100.0 | 26.6 | 100.0 | 35.6  | 100.0 |
| 20 | 常温 | 14.5 | 13.4 | 23.1  | 25.5  | 23.0 | 28.3 | 19.8 | 10.7  | 20.6 | 14.8  | 23.1 | 19.0  | 29.5  | 30.6  |
|    | 冷藏 | /    |      | 20.7  | 23.1  | 23.1 | 26.2 | 30.9 | 24.6  | 26.7 | 24.2  | 19.4 | 16.7  | 22.2  | 22.2  |
| 23 | 常温 | 8.4  | 16.4 | 22.2  | 23.5  | 25.2 | 28.0 | 23.5 | 24.5  | 24.2 | 28.6  | 22.4 | 23.7  | 27.7  | 28.0  |
|    | 冷藏 | /    |      | 18.2  | 15.8  | 17.2 | 14.4 | 25.7 | 17.6  | 26.1 | 17.9  | 28.8 | 20.4  | 31.8  | 21.9  |
| 30 | 常温 | 10.6 | 10.5 | 10.5  | 12.6  | 11.8 | 11.0 | 11.1 | 10.4  | 11.8 | 12.1  | 14.2 | 12.6  | 16.5  | 16.0  |
|    | 冷藏 | /    |      | 9.6   | 9.0   | 8.6  | 10.0 | 10.4 | 10.7  | 9.8  | 9.8   | 9.0  | 10.2  | 10.3  | 10.3  |
| 31 | 常温 | 8.2  | 7.9  | 9.2   | 9.1   | 8.8  | 9.2  | 9.8  | 9.8   | 10.4 | 11.9  | 11.2 | 12.6  | 14.9  | 17.4  |
|    | 冷藏 | /    |      | 8.4   | 8.2   | 7.8  | 8.2  | 7.8  | 8.3   | 8.4  | 7.9   | 8.2  | 8.0   | 8.6   | 9.1   |

注：环己醇峰面积比=环己醇峰面积/（环己醇亚硝酸酯峰面积+环己醇峰面积）×100%

别中同时使用时，其混合使用的最大添加量不得超过标准中对阿斯巴甜或安赛蜜规定的最大使用量。

在食品监督抽检实践中，常需检测多种添加剂，检验标准体系较为繁杂。面对食品品类多样、检测参数众多的情形，现有方法难以在有限时间内完成全部检验，亟需相关部门制定能够同步检测多种添加剂的标准方法。标准方法的整合可大幅减少仪器使用频次，显著降低色谱柱等实验耗材的消耗。市场调研数据表明，饮料中甜蜜素单独使用的情况较为少见，其多与其他甜味剂混合添加。因此，建立多参数同步测定标准具有重要现实意义，建议推动标准体系向整合与统一的方向发展。

3 结论

新版国家标准相较于旧版提供了新的思路：试样前处理由传统的过滤、定容与分取操作，调整为减少取样量并相应增加试剂用量。市场调研数据显示，约47%的饮料产品中含有甜味剂，其中甜蜜素的使用频率位列第三，表明该添加剂在饮料行业中的应用已较为成熟。现行法规允许在风味发酵乳中添加甜蜜素，因此，乳制品生产企业需强化内部质量控制体系，以确保甜蜜素的安全合规使用。在液体乳（发酵乳）的食品安全监管体系中，已新增甜蜜素作为常规检验项目。关键控制点包括：采用有证标准物质进行质量控制，确保试样的均匀性，实现精确取样，准确加入正庚烷提取剂。试验结果表明，提取液在14 d内稳定性良好，常温与冷藏两种储存条件下无显著性差异，该结论可为日常检测工作提供参考依据。

参考文献

[1] 吴鹏, 张成云, 朱旭丽, 等. 人工甜味剂对人体的影响及国内外标准现状探讨[J]. 食品科学, 2024, 45 (15): 383-392.

[2] 陈晓, 王家赞, 孙昊, 等. 常见非糖甜味剂对糖代谢影响的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35 (10): 220-226.

[3] Yang H, Hang L. Reaction of cyclamate with hypochlorous acid in vitro and formation of chlorcyclohexylamine and cyclohexylamine[J]. Food Additives & Contaminants: Part A,

2024, 41 (3): 228-236.

[4] 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.

[5] Chen Z, Chen G, Zhou K, et al. Toxicity of food sweetener-sodium cyclamate on osteoblasts cells[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2019, 508 (2): 507-511.

[6] Hu Y, Xie M, Wu X. Interaction studies of sodium cyclamate with DNA revealed by spectroscopy methods[J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2019, 220, 117085.

[7] Hasan H M, Alkass S Y, de Oliveira D S P. Impact of Long-term Cyclamate and Saccharin Consumption on Biochemical Parameters in Healthy Individuals and Type 2 Diabetes Mellitus Patients[J]. Medicina, 2023, 59 (4): 698.

[8] Mbambo N P, Dlamini S N, Chukwuma C I, et al. Comparative effects of commonly used commercially available non-nutritive sweeteners on diabetes-related parameters in non-diabetic rats[J]. Journal of Food Biochemistry, 2020, 44 (11): e13453.

[9] Wei L, Ma D, Jiang G, et al. Effects of sodium cyclohexyl sulfamate on growth and development of drosophila melanogaster[J]. Agricultural Biotechnology, 2024, 13 (4): 65-69.

[10] 马琳, 祁琪, 李雅轩, 等. 甜蜜素对果蝇繁殖生长及运动能力的影响[J]. 首都师范大学学报 (自然科学版), 2024, 45 (4): 36-41.

[11] Pisera-Fuster A, Sofia Otero, Talevi A, et al. Anticonvulsant effect of sodium cyclamate and propylparaben on pentylenetetrazol-induced seizures in zebrafish[J]. Synapse, 2017, 71 (4): e21961.

[12] 彭子娟, 薄梦, 吴雪, 等. 食品甜味剂的检测及其标准物质研究现状[J]. 计量科学与技术, 2023, 67 (9): 40-48.

[13] 国家卫生和计划生育委员会. GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].

[14] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 2760-2024. 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].

[15] 国家卫生健康委员会食品安全标准与监测评估司. 关于金花茶培养物等11种“三新食品”的公告[EB/OL]. <https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202412/ccde2b21bdb8482c9aa08ee54ac775eb.shtml>, 2024-12-5.

[16] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 5009.97-2023. 食品安全国家标准 食品中环己基氨基磺酸盐的测定[S].

[17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 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].

- [18] 赵云霞, 刘冰, 王怡, 等.湖北省食品中甜蜜素和安赛蜜的风险评估[J].中国食品卫生杂志, 2022, 34 (1): 110-115.
- [19] 陆婉瑶, 赵芸, 张思聪, 等.食糖与代糖的博弈及发展趋势分析[J].甘蔗糖业, 2021, 50 (3): 80-93.
- [20] Wang Y, Li C, Li D, et al.Estimated assessment of dietary exposure to artificial sweeteners from processed food in Nanjing, China[J].Food Additives & Contaminants: Part A, 2021, 38 (7): 1105-1117.
- [21] Tan V W K, Wee M S M, Tomic O, et al.Temporal sweetness and side tastes profiles of 16 sweeteners using temporal check-all-that-apply (TCATA) [J].Food Research International, 2019 (121): 39-47.
- [22] 黄柯, 郑积敏, 杨春霞.无营养性甜味剂——替代糖[J].化学教育(中英文), 2024, 45 (2): 1-12.
- [23] Behrens M, Blank K, Meyerhof W.Blends of non-caloric sweeteners saccharin and cyclamate show reduced off-taste due to TAS2R bitter receptor inhibition[J].Cell Chemical Biology, 2017, 24 (10): 1199-1204.e2.
- [24] 徐鑫, 牛宇敏, 邵兵.北京市中小学生5种食品添加剂的内暴露水平分析[J].中国食品卫生杂志, 2024, 36 (5): 550-556.
- [25] 王艳莉, 李成国, 郭宝福, 等.南京市居民膳食中甜蜜素暴露的风险评估[J].现代预防医学, 2020, 47 (18): 3322-3325, 3357.
- [26] 黄燕, 徐文泱, 虞岚, 等.湖南省现制饮料中甜味剂膳食暴露及对青少年风险评估[J].食品与机械, 2024, 40 (8): 58-63.
- [27] 蔡建华, 方军, 王李平, 等.广东部分地区食品中环己基氨基磺酸钠的含量调查[J].食品安全质量检测学报, 2021, 12 (4): 1644-1649.
- [28] 周荃.甜蜜素诱导小鼠急性肝损伤模型的优化与评价[D].衡阳: 南华大学, 2020.
- [29] 杨涛, 殷超.气相色谱法测定含乳饮料中甜蜜素含量的不确定度评定[J].广州化工, 2019, 47 (19): 101-103.
- [30] 景赞, 刘超, 刘晓碧.实验室检测苹果汁中甜蜜素的能力分析[J].中国果菜, 2020, 40 (5): 83-86.
- [31] 刘志鹏, 杨李胜, 王小鹏, 等.基于气相色谱法测定食品中甜蜜素的碱性水解法研究[J].食品研究与开发, 2021, 42 (10): 154-158.
- [32] 董宪兵.复配甜味剂在植物饮料中的应用研究[J].现代食品, 2020 (6): 151-153.
- [33] 夏熠珣, 陈佳, 王子元, 等.甜味与其它基本味相互作用的研究进展[J].中国食品学报, 2024, 24 (8): 12-30.
- [34] 常炯炯, 雍凌, 肖潇, 等.我国食品甜味剂联合使用情况及累积风险评估[J].毒理学杂志, 2021, 35 (3): 184-192.