

# 标准物质蔗糖溶液及其制法

黄彦捷\*, 王鑫, 余静敏, 罗思婷, 陈玲

广东省计量科学研究院, 广东 广州

收稿日期: 2024年10月25日; 录用日期: 2024年12月29日; 发布日期: 2025年1月3日

## 摘要

本文论述了蔗糖溶液标准物质的研究工作, 包括该系列标准物质研制过程中原材料的甄别选择、标准物质的制备方法、特性量值的测定方法、均匀性检验实验、稳定性检验实验及定值测量工作。经考察, 表明该系列标准物质在6个月内均保持稳定。对样品均匀性、测量分散性以及其它各类因素引入的各个不确定度分量进行了分析, 最终确定标准值为1.00%和5.00%的蔗糖溶液标准物质的相对扩展不确定度分别为1.0%和1.0%。该系列标准物质具备优良的计量特性和应用前景, 可用于食品、药品、化工产品的相关领域的研究和检验检测, 有助于实现相关检验仪器(如糖量计)的计量校准、分析方法评估或各类基底中蔗糖含量检测及检测方法的确证, 有望协助统一蔗糖相关量值。

## 关键词

标准物质, 蔗糖, 重量法, 不确定度

# Reference Materials Sucrose Solution and Its Preparation Method

Yanjie Huang\*, Xin Wang, Jingmin Yu, Siting Luo, Ling Chen

Guangdong Provincial Institute of Metrology, Guangzhou Guangdong

Received: Oct. 25<sup>th</sup>, 2024; accepted: Dec. 29<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 3<sup>rd</sup>, 2025

## Abstract

This article discusses the research work on sucrose solution standard substances, including the identification and selection of raw materials in the development process of this series of standard

\*通讯作者。

substances, the preparation method of standard substances, the determination method of characteristic values, uniformity testing experiments, stability testing experiments, and constant value measurement work. After investigation, it was found that the series of standard substances remained stable within 6 months. To obtain the uncertainty of this series, the various uncertainty components introduced by sample uniformity, measurement dispersion, and other factors were analyzed and determined. Finally, the relative expanded uncertainties of the sucrose solution standard substance with standard values of 1.00% and 5.00% were determined to be 1.0% and 1.0%, respectively. This series of standard substances has excellent metrological characteristics and application prospects, and can be used for research and inspection in related fields of food, medicine, and chemical products. It helps to achieve metrological calibration of related inspection instruments (such as sugar meters), evaluation of analysis methods, or confirmation of sugarcane content detection and detection methods in various substrates, and is expected to assist in unifying sucrose related values.

## Keywords

Reference Material, Sucrose, Weight Method, Uncertainty

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

蔗糖是一种常见的双糖，也是日常食糖的主要成分，在各类植物的花、叶、茎、种子、果实中几乎都有分布，尤其在甜菜、甘蔗、槭树汁中的含量甚高。蔗糖是人类生活中重要的食品、调味品，同时也大量用作防腐剂、抗氧剂药片的赋形剂等用途。在实际生产生活中，食品检验、卫生防疫等相关检验机构和检测部分需要量值准确可靠的糖溶液标准物质作为计量标尺实现对糖量分析的质量控制和结果保障[1]-[3]。目前，国家已发布的蔗糖溶液标准物质浓度特性量值主要为 10.0%、30.0%、50.0% [4]，但是目前国内具备蔗糖溶液标准物质生产能力的单位很少，无法满足全社会对蔗糖溶液标准物质日益增长的需求。而国外也暂无可供比对的蔗糖溶液标准物质。由此，开展蔗糖溶液标准物质的研究，一方面在分析糖量时，食品检验、卫生防疫等部门的日常测量工作能够得到保障；另一方面，可向国防各计量部门提供统一的量值标准，以保证有效控制糖量计和折光仪等折光原理的测量仪器，填补我国蔗糖溶液标准物质缺乏低浓度量值的空白，为食品安全检测和监督管理提供重要的技术支撑[5]-[7]。

根据 JJF1006-1994《一级标准物质研制技术规范》[8]以及 JJF1343-2022《标准物质的定值及均匀性、稳定性评估》[9]研究了标准物质蔗糖溶液及其制法。该系列标准物质有助于实现相关仪器(如糖量计)的校准、分析方法评估或蔗糖含量检测及检测方法的确证，有望协助统一相关量值，实现相应价值。

## 2. 实验材料与研究方法

### 2.1. 主要仪器与试剂

自动折光仪：Abbemat 550，奥地利 Anton Paar 公司；电子天平：CPA225D，德国 Sartorius 公司；实验用水：三次纯化水，经高压蒸汽灭菌并冷却至室温后待用；GBW10067 蔗糖纯度标准物质：特性量值为纯度 99.7%，不确定  $U = 0.8\%$ ， $k = 2$ ，中国计量科学研究院。

## 2.2. 研究方法

### 2.2.1. 标准物质样品的制备

于 250 mL 锥形瓶中减量法准确称取 GBW10067 蔗糖纯度标准物质 1.5055 g 及高纯水 148.5178 g (水平 1), GBW10067 蔗糖纯度标准物质 7.5229 g 及高纯水 142.4819 g (水平 2)。静止一周后充分摇匀, 取约 1 mL 分装至 2 mL 安瓿瓶中并熔封, 两个浓度水平各分装 150 个单元。一经打开, 应立即使用, 不可再次熔封安瓿瓶使用。

### 2.2.2. 方法学验证

对 Abbemat 550 自动折光仪测定结果的精密度及线性进行测试验证。

精密度实验: 分别取 2 个浓度的蔗糖溶液标准物质, 重复测量 6 次, 分别计算其相对标准偏差。

线性实验: 以 GBW10067 蔗糖纯度标准物质为溶质, 配制成 7 个不同浓度的蔗糖水溶液, 测定上述不同浓度蔗糖溶液进行线性分析。

方法学满足相应的精密度、准确度及线性要求后, 开展均匀性及稳定性实验。

### 2.2.3. 样品的均匀性检验

在(23℃ ± 5℃)下对制备的溶液标准物质随机抽样, 采用 Abbemat 550 自动折光仪平行 3 次测量样品, 计算平均值并进行单因素方差分析。

### 2.2.4. 样品的稳定性考察

长期稳定性考察: 在为期 6 个月的 4℃ 储存条件下, 选取 0、1、2、3、4、6 个月作为时间节点, 采用 Abbemat 550 自动折光仪平行 3 次测量对应时间节点的样品, 计算平均值并进行线性回归分析。

短期稳定性考察: 在为期 7 天的(40℃ ± 2℃)模拟运输条件下, 选取 0、2、4、5、6、7 天作为时间节点, 采用 Abbemat 550 自动折光仪平行 3 次测量对应时间节点的样品, 计算平均值并进行线性回归分析。

### 2.2.5. 定值模型

分别称量 GBW10067 蔗糖纯度标准物质和三次纯化水配制, 其定值模型为:

$$C = \frac{m \times q}{m + M}$$

式中,  $C$  为目标配制浓度, %;  $m$  为称取的 GBW10067 蔗糖纯度标准物质量, g;  $q$  为 GBW10067 蔗糖纯度标准物质特性量值, %;  $M$  为称取的高纯水的质量, g。

### 2.2.6. 量值比对验证

选用同类型的国家有证标准物质: 国防科技工业应用化学一级计量站研发的 GBW(E)130456、GBW(E)130457、GBW(E)130458 蔗糖水溶液标准物质进行比对分析。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 方法学验证结果

采用 Abbemat 550 自动折光仪精密度分析结果如表 1 所示, 相对标准偏差小于 0.2% 说明精密度良好。该精密度结果表明 Abbemat 550 自动折光仪适用于样品的均匀性及稳定性分析。

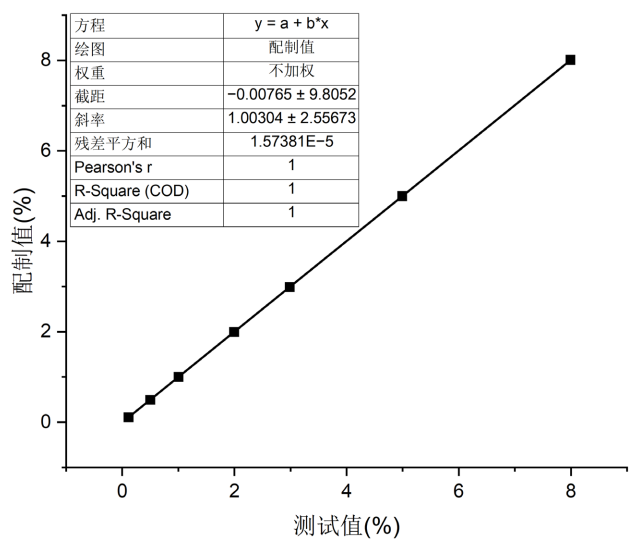
线性分析结果如表 2 和图 1 所示, 其标准曲线  $R^2 = 1.000$ , 且配制值和测试值之间十分接近, 证明了该方法的正确度和线性良好。

**Table 1.** Abbemat 550 automatic refractometer precision analysis results (%)  
**表 1.** Abbemat 550 自动折光仪精密度分析结果(%)

| 浓度水平 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | RSD(%) |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 水平 1 | 1.001 | 1.003 | 0.999 | 1.000 | 1.001 | 1.004 | 0.19   |
| 水平 2 | 5.012 | 5.015 | 5.014 | 5.019 | 5.023 | 5.016 | 0.08   |

**Table 2.** Linear analysis results of Abbemat 550 automatic refractometer (%)  
**表 2.** Abbemat 550 自动折光仪的线性分析结果(%)

|     |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 配制值 | 0.114 | 0.502 | 1.005 | 1.995 | 2.987 | 4.992 | 7.991 |
| 测试值 | 0.109 | 0.494 | 1.001 | 1.994 | 2.987 | 4.998 | 8.009 |



**Figure 1.** Linear analysis diagram of Abbemat 550 automatic refractometer  
**图 1.** Abbemat 550 自动折光仪线性分析图

**3.2. 均匀性检验**

均匀性检验结果如表 3 所示(以 1.00%蔗糖溶液标准物质为例), 由  $F$  分布临界值  $F_\alpha = 2.297$ , 计算得到  $F < F_\alpha$  符合均匀性判别要求。同理, 5.00%蔗糖溶液标准物质的均匀性也符合相关统计学要求, 其结果见表 4。

**Table 3.** Homogeneity result of 1.00% sucrose aqueous solution reference material  
**表 3.** 1.00%蔗糖溶液标准物质均匀性结果

| 瓶号 | 浓度(%) |       |       | 平均值   |
|----|-------|-------|-------|-------|
|    | 1     | 2     | 3     |       |
| 1  | 0.999 | 1.001 | 1.000 | 1.001 |
| 2  | 1.001 | 1.003 | 0.996 | 1.000 |
| 3  | 0.999 | 1.001 | 1.003 | 1.002 |
| 4  | 1.000 | 1.001 | 0.999 | 1.000 |

续表

|    |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 5  | 1.001 | 0.996 | 1.000 | 0.999 |
| 6  | 1.001 | 0.994 | 0.999 | 0.998 |
| 7  | 1.001 | 1.003 | 1.003 | 1.001 |
| 8  | 0.994 | 0.996 | 0.996 | 0.995 |
| 9  | 0.998 | 0.997 | 0.999 | 0.998 |
| 10 | 0.999 | 1.001 | 1.003 | 1.001 |
| 11 | 0.998 | 1.001 | 1.003 | 1.001 |

Table 4. Variance analysis of homogeneity test  
表 4. 均匀性检验方差分析结果

| 蔗糖溶液浓度(mmol/L) | 1.00     | 5.00     |
|----------------|----------|----------|
| $Q_1$          | 1.01E-04 | 2.57E-04 |
| $Q_2$          | 1.25E-04 | 3.49E-04 |
| $v_1$          | 10       | 10       |
| $v_2$          | 22       | 22       |
| $s_1^2$        | 1.01E-05 | 2.57E-05 |
| $s_2^2$        | 5.70E-06 | 1.58E-05 |
| $F$            | 1.770    | 1.621    |

3.3. 稳定性考察

表 5、表 6 给出了 2 个浓度水平的蔗糖溶液标准物质的长期稳定性和短期稳定性考察结果，通过线性模型对稳定性考察结果进行分析，表中  $\beta_1$  为线性拟合斜率， $s(\beta_1)$  为斜率的标准偏差， $t_{0.05,4} \cdot s(\beta_1)$  为  $t$  检验判别依据。

Table 5. Long term stability test result  
表 5. 长期稳定性考察结果

| 时间(月)     | 浓度(%)    |           |
|-----------|----------|-----------|
|           | 1.00     | 5.00      |
| 0         | 1.000    | 5.015     |
| 1         | 1.003    | 5.021     |
| 2         | 1.001    | 5.015     |
| 3         | 1.000    | 5.018     |
| 4         | 1.001    | 5.016     |
| 6         | 1.001    | 5.014     |
| $\beta_1$ | 7.62E-05 | -4.57E-04 |

续表

|                               |          |          |
|-------------------------------|----------|----------|
| $s(\beta_1)$                  | 2.80E-04 | 5.22E-04 |
| $t_{0.05,4} \cdot s(\beta_1)$ | 7.79E-04 | 1.45E-03 |

**Table 6.** Short term stability test result  
**表 6.** 短期稳定性考察结果

| 时间(天)                         | 浓度(%)    |          |
|-------------------------------|----------|----------|
|                               | 1.00     | 5.00     |
| 0                             | 0.999    | 5.017    |
| 1                             | 1.000    | 5.014    |
| 2                             | 1.002    | 5.016    |
| 3                             | 1.002    | 5.012    |
| 5                             | 1.003    | 5.019    |
| 7                             | 0.999    | 5.018    |
| $\beta_1$                     | 8.82E-05 | 3.73E-04 |
| $s(\beta_1)$                  | 3.14E-04 | 4.23E-04 |
| $t_{0.05,4} \cdot s(\beta_1)$ | 8.72E-04 | 1.18E-03 |

本系列标准物质在自由度  $n-2=4$ 、置信水平  $p=0.95$  的统计学条件下，经查表可得  $t_{0.05,4}=2.78$ ，并计算表明  $|\beta_1| < t_{0.95,4} \cdot s(\beta_1)$ 。该结果说明，线性分析的拟合斜率不显著，可在设定储存条件下长期保存和模拟运输条件下运输。

### 3.4. 不确定度

依照 JJG1006-1994《一级标准物质研制技术规范》[8]与 JJF1343-2022《标准物质的定值及均匀性，稳定性评估》，溶液标准物质标准值的总不确定度由三部分组成：定值实验引入的不确定度、样品不均匀产生的不确定度、样品不稳定产生的不确定度[9]。本文以 1.00%蔗糖溶液标准物质为例展开说明。

#### 3.4.1. 定值引入的不确定度

依据重量容量法的定值的数学模型，参照现有标准物质的研制方法和不确定度评估体系[10]-[12]。蔗糖溶液标准物质的不确定度来源可分为三类，分别为：(1) 原料标准物质引入的不确定度( $u_w$ )；(2) 称量引入的不确定度( $u_m$ )；(3) 蔗糖分子摩尔质量引入的不确定度( $u_M$ )。

(1) 原料标准物质引入的不确定度：本次蔗糖溶液的标准物质原料为 GBW10067 蔗糖纯度标准物质，其配套的证书中标示相对扩展不确定度为 0.8% ( $k=2$ )，则  $u_{rel(w)} = \frac{0.8\%}{2 \times 99.7\%} = 0.4\%$ 。

(2) 称量引入的不确定度：包括了原料的称量以及溶剂称量等两个部分。首先采用减量法称量 1.5055 g GBW10067 蔗糖纯度标准物质，而电子天平最小分度量值为  $\pm 0.1$  mg，重复计算空盘和样本两次，则  $u_{m1} = \sqrt{2} \times \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.082$  mg。根据天平校准证书，其重复性引入的不确定度： $u_{m2} = \frac{0.0253}{\sqrt{6}} = 0.0104$  mg。合

并得到： $u_m = \sqrt{u_{m1}^2 + u_{m2}^2} = 0.132 \text{ mg}$ ， $u_{rel(m)} = \frac{u_m}{1.5055 \times 1000} \times 100\% = 0.00876\%$ 。溶剂由于称量的质量远远高于 GBW10067 蔗糖纯度标准物质，引入的不确定度较小，可忽略不计。

(3) 蔗糖分子摩尔质量引入的不确定度：蔗糖分子仅仅 C、H、O 三种元素，根据各自相对原子质量的标准偏差计算得到： $u_M = 7.36 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$ ， $u_{rel(M)} = \frac{u_M}{342.3} \times 100\% = 0.00215\%$ 。

合成得到： $u_{rel,定值} = \sqrt{u_{rel(w)}^2 + u_{rel(m)}^2 + u_{rel(M)}^2} = 0.41\%$ 。

3.4.2. 不均匀性引入的不确定度

不均匀性可根据 3.2 部分的数据进行量化考察，标准偏差为  $s_{bb} = \sqrt{\frac{s_1^2 - s_2^2}{3}} = 0.0021$ 。则

$$u_{rel,bb} = \frac{s_{bb}}{C} \times 100\% = \frac{0.021}{1.001} \times 100\% = 0.12\%。$$

3.4.3. 不稳定性引入的不确定度

不稳定性可根据 3.3 部分的数据进行量化考察，6 个月的长期稳定性的引入的相度为：

$$u_{its} = s(\beta_1) \times t = 2.80 \times 10^{-4} \times 6 = 1.68 \times 10^{-3}，u_{rel,s} = \frac{0.00168}{1.001} \times 100\% = 0.17\%。$$

3.4.4. 标准物质的合成不确定度

合成得到 1.00%蔗糖溶液标准物质的相对不确定度： $u_{rel} = \sqrt{u_{rel,定值}^2 + u_{rel,bb}^2 + u_{rel,s}^2} = 0.45\%$ ，相对扩展不确定度： $U_{rel} = k \times u_{rel} = 1.0\%$ ， $k = 2$ 。

合成得到 5.00%蔗糖溶液标准物质的相对不确定度： $u_{rel} = 0.41\%$ ，相对扩展不确定度  $U_{rel} = 1.0\%$ ， $k = 2$ 。

3.5. 同类型标准物质比对

选购了国防科技工业应用化学一级计量站的 GBW(E)130456 蔗糖水溶液标准物质、GBW(E)130457 蔗糖水溶液标准物质、GBW(E)130458 蔗糖水溶液标准物质与研制的蔗糖溶液物质进行比对分析。

具体方法为，采用本次研制的蔗糖溶液标准物质对糖量计进行校准，再测定国防科技工业应用化学一级计量站的标准物质，结果如表 7 所示，现有的蔗糖水溶液标准物质的测量结果均落在其认定值的不确定度范围内，因此所研制的蔗糖溶液标准物质质量值与现有标准物质准确性一致，且具有稳定、便捷的特点。

Table 7. Verification results of reference materials (%)  
表 7. 同类型标准物质验证结果(%)

| 测试样品 | GBW(E)130456<br>10.0% |        | GBW(E)130457<br>30.0% |        | GBW(E)130458<br>50.0% |        |
|------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|
|      | 1                     | 2      | 1                     | 2      | 1                     | 2      |
| 测量值  | 10.014                | 10.016 | 30.031                | 30.027 | 50.045                | 50.044 |
|      | 10.018                | 10.012 | 30.026                | 30.028 | 50.045                | 50.049 |
|      | 10.018                | 10.014 | 30.032                | 30.030 | 50.047                | 50.046 |
| 平均值  | 10.017                | 10.014 | 30.030                | 30.028 | 50.046                | 50.046 |

4. 结论

本文开发的蔗糖溶液标准物质是使用纯度标准物质通过重量法制备的。其特征量值准确，符合相关



计量标准对标准物质均匀性和稳定性的要求。本系列标准物质在测试仪器的计量校准或实际样品的测量和检验中的使用符合预期, 试验验证结果令人满意, 可以满足食药卫生和防疫领域的研究和检测需求, 有助于建立健全的量值传递体系, 特别是对相关检测仪器的计量校准和分析方法评估, 有效保证食品检测中蔗糖含量检测的准确性和溯源性。未来可在此研究基础之上, 进一步研究不同基质材料的蔗糖含量标准物质, 更加契合不同细分领域内的实际需求。

## 基金项目

感谢国家市场监督管理总局科技计划项目(2022MK093)及广州市基础与应用基础研究项目(2023A04J0545)的支持。

## 参考文献

- [1] 罗凯. 试谈甘蔗糖业标准化[J]. 中国糖料, 2005, 27(4): 56-58.
- [2] 黄雪影, 王桂华. 浅析三氯蔗糖国际标准主要内容[J]. 轻工科技, 2009, 25(6): 12-14.
- [3] 陈泳敏, 覃兴云, 何洁, 等. 广西糖料甘蔗标准化建设的对策及建议[J]. 广西糖业, 2021(3): 54-58.
- [4] 刘新, 王爱萍, 龚维, 等. 蔗糖水溶液标准物质的研制[J]. 山东化工, 2015, 44(13): 27-30.
- [5] 梁宝爱. 食品中蔗糖检测方法的研究[J]. 食品工程, 2009(1): 58-60.
- [6] 张晓青, 马思聪, 闫瑞昕, 等. 椰子粉中蔗糖和葡萄糖添加量的快速检测[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 240-243.
- [7] 黄海珍, 范晓辉, 冯杰, 等. 广西蔗糖产业计量能力提升的研究[J]. 中国计量, 2021(3): 55-58.
- [8] 国家技术监督局. JJF1006-1994 一级标准物质研制技术规范[S]. 北京: 中国计量出版社, 1994.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局. JJF1343-2022 标准物质的定值及均匀性、稳定性评估[S]. 北京: 中国质检出版社, 2022.
- [10] 李务荣, 杨彬, 黄彦捷, 等. 人血清中葡萄糖标准物质的研制[J]. 计量学报, 2023, 44(2): 304-310.
- [11] 罗思婷, 杨亦, 杨彬, 等. 葡萄糖溶液标准物质的研制[J]. 药物化学, 2022, 10(3): 238-246.
- [12] 黄彦捷, 周瑾艳, 陈玲, 等. 碱性橙 II 纯度标准物质的研制[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2019, 46(6): 68-75.