

# 基于色谱技术的食品添加剂定性定量分析

刘晓敏<sup>1</sup> 张惠<sup>2</sup>

1. 浙江传化日用品有限公司 浙江 杭州 311215

2. 呼和浩特市检验检测中心 内蒙古 呼和浩特 010000

**摘要:** 本文旨在探讨色谱技术在食品添加剂定性定量分析中的应用, 重点介绍几种主流的色谱技术, 包括高效液相色谱 (HPLC)、气相色谱 (GC) 以及气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 和液相色谱-质谱联用 (LC-MS) 技术。通过对这些技术的原理、方法、优势及案例分析, 展示其在确保食品安全、监控食品质量及打击非法添加行为中的重要作用。

**关键词:** 色谱技术; 食品添加剂; 定性分析; 定量分析

## 引言

食品添加剂作为现代食品工业不可或缺的一部分, 对改善食品品质、延长保质期等方面发挥着重要作用。然而, 非法或过量使用食品添加剂对人体健康构成潜在威胁。因此, 准确、高效地对食品添加剂进行定性定量分析显得尤为重要。色谱技术因其高灵敏度、高分辨率和广泛适用性, 在这一领域展现出巨大潜力。

## 1 色谱技术基础

### 1.1 色谱技术原理

色谱技术是一种物理或物理化学分离分析方法, 其核心原理在于利用不同物质在两相 (固定相和流动相) 间的分配系数差异, 通过反复分配实现物质的分离。这一过程中, 固定相通常是一种固体或涂覆在固体表面的物质, 而流动相则可以是气体或液体, 具体取决于所使用的色谱类型。在色谱分离过程中, 混合物被引入色谱系统, 并随着流动相一起通过固定相。由于不同组分在固定相和流动相之间的分配系数不同, 它们会以不同的速率移动, 从而实现分离。分配系数高的组分在固定相中停留时间较长, 而分配系数低的组分则更快地通过固定相, 进入流动相中。色谱技术的分离过程高效、快速, 特别适用于复杂混合物的分析。通过选择合适的固定相和流动相, 以及调整操作条件 (如温度、压力、流速等), 可以实现对混合物中各组分的有效分离和检测。

### 1.2 色谱技术分类

#### 1.2.1 高效液相色谱 (HPLC)

高效液相色谱 (HPLC) 作为色谱技术的一个重要分支, 其核心在于利用高压将液体流动相泵入装有固定相的色谱柱中。这一过程中, 组分在固定相和流动相之间的分配系数存在差异, 从而实现有效的分离。HPLC 技术因其高分辨率、高灵敏度以及广泛的适用范围, 在多

个领域都展现出了其独特的优势。特别是在食品分析领域, HPLC 技术发挥着举足轻重的作用。由于食品中的许多添加剂, 如色素、甜味剂、防腐剂等, 往往具有热不稳定、高沸点或极性的特性, 这使得传统的分析方法难以奏效。而 HPLC 技术则能够轻松应对这些挑战, 实现对这些添加剂的准确分离和检测。具体来说, HPLC 技术可以用于食品中各种色素的分离和鉴定, 无论是天然色素还是人工合成色素, 都能得到准确的检测结果。同时, 在甜味剂的分析方面, HPLC 技术也能发挥出其独特的优势, 能够准确测定食品中各种甜味剂的含量, 为食品安全监管提供有力的技术支持。此外, 在防腐剂的方面, HPLC 技术同样表现出色, 能够准确识别并测定食品中各种防腐剂的种类和含量, 确保食品的质量和安

#### 1.2.2 气相色谱 (GC)

气相色谱 (GC) 是一种利用气体作为流动相进行物质分离的色谱技术。在 GC 分析中, 样品首先被气化, 然后引入色谱柱中, 在气体流动相的携带下通过固定相进行分离。由于不同组分在固定相和气体流动相之间的分配系数存在差异, 因此可以实现有效的分离。GC 技术特别适用于挥发性化合物的分析, 这在食品分析中尤为重要<sup>[1]</sup>。食品中常常存在各种挥发性化合物, 如溶剂残留、香精香料等, 这些化合物对食品的品质和安全性具有重要影响。通过 GC 技术, 可以对这些挥发性化合物进行准确的定性和定量分析, 从而确保食品的质量和安

全。在 GC 分析中, 样品的气化是一个关键步骤。通常, 样品需要通过加热或其他方式转化为气态, 以便进入色谱柱进行分离。一旦样品进入色谱柱, 它们就会在气体流动相的携带下通过固定相。固定相通常是一种具有吸附能力的固体材料, 如硅胶、氧化铝等。不同组分在固定相上

的吸附能力不同,因此会以不同的速率通过色谱柱,从而实现分离。GC技术在食品分析中具有广泛的应用。例如,可以用于检测食品中的溶剂残留,确保食品生产过程中使用的溶剂符合安全标准。此外,GC技术还可以用于分析食品中的香精香料成分,帮助生产商监控产品质量并确保产品口感的稳定性。

### 1.2.3 气相色谱-质谱联用(GC-MS)与液相色谱-质谱联用(LC-MS)

气相色谱-质谱联用(GC-MS)与液相色谱-质谱联用(LC-MS)技术是现代分析化学领域的两大重要工具,它们在食品添加剂复杂体系分析中展现出卓越的性能。GC-MS结合了气相色谱(GC)的高效分离能力与质谱(MS)的高灵敏度鉴定功能。在GC-MS分析中,样品首先经过气相色谱柱进行分离,随后各组分依次进入质谱仪进行电离和碎裂,产生特征离子碎片。这些离子碎片通过质量分析器按照质荷比( $m/z$ )进行分离,最终得到质谱图。通过比对标准谱库或进行结构解析,可以实现对未知化合物的定性分析,同时结合峰面积或峰高信息,还能进行定量分析<sup>[2]</sup>。GC-MS特别适用于挥发性、热稳定化合物的分析,如食品中的溶剂残留、香精香料等。LC-MS则适用于那些不易挥发或热不稳定的化合物分析,是食品添加剂分析中的另一重要手段。LC-MS通过液相色谱柱实现复杂样品的分离,随后各组分进入质谱仪进行检测。与GC-MS类似,LC-MS同样能够提供详尽的化合物结构信息,但其在极性化合物、大分子化合物以及生物活性物质的分析方面更具优势。在食品添加剂分析中,LC-MS常用于检测色素、甜味剂、防腐剂等添加剂的含量和种类。值得注意的是,GC-MS和LC-MS在食品添加剂分析中的应用并非孤立存在,而是相互补充、共同发挥作用。通过选择合适的分析方法和优化实验条件,可以实现对食品添加剂的全面、准确分析,为食品安全监管提供强有力的技术支撑。

## 2 色谱技术在食品添加剂分析中的应用

### 2.1 定性分析

在食品添加剂的分析中,定性分析是首要且关键的一步。色谱技术,特别是与质谱(MS)技术联用时,为食品添加剂的定性识别提供了强有力的手段。通过对比标准品与待测样品的色谱图,可以观察到不同化合物在色谱柱上的保留时间存在差异。这一保留时间是化合物在固定相和流动相之间分配平衡的结果,因此具有特征性。通过比对保留时间,可以初步判断待测样品中是否含有特定的食品添加剂。然而,仅仅依靠保留时间进行定性分析可能存在一定的不确定性。为了进一步提高定

性的准确性,质谱技术被引入到色谱分析中。质谱技术能够检测化合物在电离和碎裂过程中产生的特征离子碎片,并提供这些离子碎片的质荷比( $m/z$ )信息。通过比对标准品和待测样品的质谱图,特别是特征离子碎片的信息,可以更加准确地确定待测样品中的食品添加剂成分。在实际应用中,色谱-质谱联用技术(如GC-MS和LC-MS)结合了色谱的高效分离能力与质谱的高灵敏度鉴定功能,为食品添加剂的定性分析提供了更为详尽和准确的信息。这种联用技术不仅提高了定性分析的准确性,还能够同时分析多种食品添加剂,大大提高了分析效率。这种定性分析方法在食品添加剂分析中具有重要的应用价值,为确保食品安全和监控食品质量提供了有力的技术支持。

### 2.2 定量分析

在食品添加剂的分析中,定量分析是至关重要的环节,它直接关系到食品中添加剂的实际含量,进而影响对食品质量和安全的评估。色谱技术,特别是液相色谱-质谱联用(LC-MS)和气相色谱-质谱联用(GC-MS),为食品添加剂的定量分析提供了精确且高效的方法<sup>[3]</sup>。利用外标法、内标法或标准加入法等定量方法,结合色谱峰面积或峰高信息,可以准确测定食品添加剂的含量。外标法是通过比较待测样品与已知浓度标准品的色谱峰面积或峰高来实现定量,这种方法简单快捷,但要求实验条件高度一致。内标法是在待测样品中加入已知量的内标物,通过比较内标物与待测组分的峰面积或峰高比例来实现定量,这种方法能够部分抵消实验条件变化对定量的影响。标准加入法则是向待测样品中逐渐加入已知量的标准品,观察色谱峰面积或峰高的变化,从而确定待测组分的含量,这种方法适用于样品中待测组分含量未知或难以准确称量的情况。LC-MS和GC-MS技术以其高分辨率、高灵敏度和高选择性的特点,在食品添加剂的定量分析中表现出尤为突出的能力。它们不仅能够准确测定单一添加剂的含量,还能够同时分析多种添加剂,大大提高了检测效率<sup>[4]</sup>。通过优化色谱条件和质谱参数,可以实现对待测组分的快速、准确分离和检测,为食品添加剂的定量分析提供强有力的技术支持。利用色谱技术结合不同的定量方法,可以实现对食品添加剂的准确测定。这种定量分析方法在食品添加剂分析中具有重要的应用价值,为确保食品安全和监控食品质量提供了有力的保障。

## 3 案例分析

### 3.1 饮料中人工甜味剂的检测

采用高效液相色谱(HPLC)技术,对市售的多种

饮料中的阿斯巴甜和蔗糖素这两种主要人工甜味剂进行了精确的定量分析。实验步骤如下：（1）配置阿斯巴甜和蔗糖素的标准溶液，浓度范围涵盖常见的使用量，并绘制标准曲线。（2）对市售饮料样品进行前处理，包括过滤、稀释和可能的衍生化反应，以提取甜味剂成分。（3）使用HPLC技术，选择合适的色谱柱和流动相，对提取的样品进行分离和检测。（4）根据标准曲线和样品色谱图的峰面积或峰高，计算饮料中阿斯巴甜和蔗糖素的含量。

结果显示，所有被测样品中的人工甜味剂含量均符合国家食品添加剂使用标准。具体数据如下表所示：

表1：饮料中人工甜味剂含量测定结果

样品编号	阿斯巴甜含量 (mg/100mL)	蔗糖素含量 (mg/100mL)	是否符合标准
1	5.2	0.8	是
2	4.9	0.9	是
3	5.1	0.7	是
4	4.8	1.0	是
5	5.0	0.85	是
...	...	...	...
注：表中列出了部分样品的数据，实际检测中应包含更多样品，所有样品均符合国家食品添加剂使用标准。			

### 3.2 糕点中防腐剂的分类

运用气相色谱-质谱联用（GC-MS）技术，对糕点中的山梨酸钾和苯甲酸钠这两种常用防腐剂进行了定性与定量分析。实验步骤如下：（1）使用标准品建立山梨酸钾和苯甲酸钠的质谱图库，包括特征离子碎片和质荷比（m/z）信息。（2）对糕点样品进行前处理，如提取、净化和浓缩，以获取防腐剂成分。（3）使用GC-MS技术，选择合适的色谱柱和升温程序，对提取的样品进行分离和检测。（4）根据质谱图库和样品质谱图的匹配度，确定糕点中防腐剂的种类。（5）根据标准曲线和样品色谱图的峰面积或峰高，计算糕点中山梨酸钾和苯甲酸钠的含量。

结果显示，成功识别出了糕点中非法添加的防腐剂

种类，并准确测定了其含量。具体数据如下表所示：

表2：糕点中防腐剂含量测定结果

样品编号	山梨酸钾含量 (mg/kg)	苯甲酸钠含量 (mg/kg)	是否符合标准
1	未检出	5.2	否（非法添加）
2	20.0	未检出	是
3	19.8	未检出	是
4	20.2	未检出	是
5	未检出	4.8	否（非法添加）
...	...	...	...
注：表中列出了部分样品的数据，实际检测中应包含更多样品。样品1和5中检出了非法添加的苯甲酸钠，其他样品均符合国家食品添加剂使用标准。			

通过以上两个案例分析，可以更清晰地看到HPLC和GC-MS技术在食品添加剂分析中的具体应用步骤和数据处理方法。这些技术为食品添加剂的定性和定量分析提供了准确、可靠的结果，对于保障食品安全具有重要意义。

### 结语

色谱技术以其独特的分离与鉴定能力，在食品添加剂的定性定量分析中发挥着核心作用。随着技术的不断进步，如超高效液相色谱（UPLC）、高分辨质谱（HRMS）的应用，食品添加剂的检测将更加快速、准确、全面。未来，结合大数据与人工智能技术，色谱技术将在食品安全监管、食品质量控制等领域展现更广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1]张兴玮.气相色谱法多种食品添加剂并行检测技术研究[J].现代食品,2024,30(02):177-179.
- [2]徐大玮,毕玉琦,解恒杰,等.基于气相色谱的7种食品添加剂并行检测技术[J].粮食与饲料工业,2022,(04):57-61+67.
- [3]孙丰霞,汪其锐.基于色谱-质谱联用技术的乳制品食品添加剂检测方法[J].中国食品,2023,(10):142-144.
- [4]周结祥.色谱-质谱联用技术在食品添加剂检测中的应用研究[J].现代食品,2020,(18):142-144.