

Difficulties and breakthrough path of quality control of food additive testing

Meilian Shi Xuefen Shi Weijun Lin

Shenzhen Credit Test Standard Technical Service Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Food additive detection plays a key role in ensuring food safety, and the accuracy and reliability of its detection results are directly related to the effectiveness of supervision. However, due to the poor stability of trace analysis, the interference of complex matrix and the limitation of standard methods, the quality control of food additive detection faces many challenges. This paper to a dairy enterprise benzoic acid overweight event, for example, deeply analyzes the core of food additives testing quality control, and from the nano enrichment technology development, intelligent background deduction system construction, detection quality control system reconstruction to explore the technology innovation breakthrough path, through the field test verified the effectiveness and practicability of relevant technical achievements, can strengthen the food additives detection quality control, build a food safety lines provide useful enlightenment and reference.

Keywords

food additives; detection; quality control; nano-enrichment; intelligent background deduction

食品添加剂检测的质量控制难点与突破路径

石美莲 石雪芬 林伟进

深圳信测标准技术服务有限公司, 中国·广东深圳 518000

摘要

食品添加剂检测在保障食品安全中发挥关键作用, 而其检测结果的准确性和可靠性直接关系到监管的有效性。但由于痕量分析稳定性差、复杂基质干扰多、标准方法局限性大等因素制约, 食品添加剂检测的质量控制面临诸多挑战。本文以某乳制品企业苯甲酸超标事件为例, 深入剖析了食品添加剂检测质量控制的核心难点, 并从纳米富集技术开发、智能背景扣除系统构建、检测质控体系重构等方面探索了技术创新突破路径, 通过现场试验验证了相关技术成果的有效性和实用性, 可为强化食品添加剂检测质量控制、筑牢食品安全防线提供有益启示和参考。

关键词

食品添加剂; 检测; 质量控制; 纳米富集; 智能背景扣除

1 引言

食品添加剂在改善食品品质、延长保质期等方面发挥着重要作用, 已成为现代食品工业不可或缺的一部分。然而, 食品添加剂的不当使用也可能引发食品安全问题, 危害消费者身心健康。为有效规范食品添加剂的使用, 保障食品安全, 必须加强食品添加剂的检测监管。而检测结果的准确性和可靠性是监管的基础和前提。由于食品添加剂检测的特殊性, 其质量控制面临诸多挑战。如何破解质控难题, 提高食品添加剂检测的精准性和公信力, 已成为食品安全领域亟待破解的重大课题。

2 案例背景与问题表征

2.1 某乳制品企业苯甲酸超标事件

某乳企生产的一批酸奶经检测发现防腐剂苯甲酸和山

梨酸使用量严重超标, 分别超出国家标准限量值 2.5 倍和 1.8 倍。虽然苯甲酸和山梨酸为食品工业常用防腐剂, 但添加量超标可能影响消费者健康。该事件再次敲响了食品添加剂使用管理的警钟, 凸显了加强食品添加剂检测监管的紧迫性^[1]。事件发生后, 有关部门迅速展开调查, 最终查明多方检测结果不一致是导致问题酸奶流入市场的重要原因。分析发现, 不同机构检测该批次酸奶的苯甲酸含量数据差异较大, 暴露了食品添加剂检测质量控制方面的诸多问题。

2.2 食品添加剂检测特殊性

造成上述检测结果差异的重要原因在于食品添加剂检测的特殊性。一方面, 食品中添加剂残留量低, 痕量分析难度大。以苯甲酸为例, 酸奶中苯甲酸限量标准为 300mg/kg, 实际检测中常在 ppb 甚至 ppt 级别, 对检测灵敏度和稳定性提出极高要求。另一方面, 酸奶基质复杂, 乳糖、蛋白质等成分会对检测产生严重干扰, 导致检测的特异性差, 假阳性或假阴性结果频出。此外, 针对不同食品基质, 检测方法的适用性差异较大, 缺乏统一、规范、可靠的检测技术规程和质量控制规

【作者简介】石美莲 (1992-), 女, 中国广东深圳人, 本科, 助理工程师, 从事食品质量安全与检测研究。

范。上述特点导致食品添加剂检测质量控制面临诸多困难，亟需从完善检测技术和质控体系两方面入手破题^[2]。

3 质量控制核心难点分析

3.1 痕量分析稳定性控制难题

食品添加剂残留量低，目标物浓度在 ppb 甚至 ppt 级别，对检测方法的灵敏度提出极高要求。但痕量分析过程中，基质干扰、目标物损失等因素显著影响检测灵敏度和重现性。以固相萃取 - 高效液相色谱法测定酸奶中山梨酸为例，酸奶中复杂成分会吸附萃取柱，造成基质效应，导致检测灵敏度下降。同时，样品前处理和仪器进样过程中，痕量目标物易发生吸附损失，影响检测结果的稳定性。如图 1 所示，不同批次酸奶山梨酸加标回收率差异较大，说明方法稳定性有待提高。因此，在复杂食品基质中准确定量分析痕量添加剂，是摆在检测人员面前的一大难题。

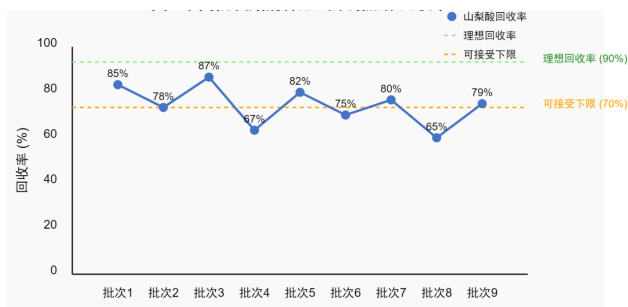


图 1 不同批次酸奶样品山梨酸加标回收率

3.2 复杂基质干扰消除困境

食品基质成分复杂多样，不同食品来源、加工工艺、贮存条件等因素都会引入各类干扰物质。以乳制品为例，乳糖、酪蛋白、乳清蛋白、脂肪等成分可能对检测产生干扰^[3]。其中，蛋白质残留会吸附目标物，导致检测回收率降低；乳糖与检测试剂钙试剂产生沉淀，影响分析灵敏度；脂肪酸残留会污染色谱柱，缩短柱寿命。若处理不当，上述干扰会严重影响检测的专属性和重现性，导致出现较大的系统误差。表 1 展示了 3 种预处理方法去除酸奶基质干扰的效果对比。可见，高效去除复杂基质是准确检测的关键，但现有方法普遍存在去除效率低、基质适应性差等不足，亟需进一步创新突破。

表 1 不同预处理方法去除酸奶基质干扰效果对比

方法	澄清度	脱脂率	山梨酸回收率
水浴加热	+	65%	74.5%
酸析离心	++	80%	84.2%
微波辅助萃取	+++	95%	92.7%

3.3 标准方法适应性局限

食品添加剂种类繁多，在不同食品基质中的残留行为差异很大。以防腐剂为例，不同 pH 值、水分活度、温度等条件下，其在酸奶、肉制品、饮料等食品中的赋存状态和含量水平相差较大。而现行的食品添加剂检测标准方法较为局限，缺乏对不同基质专属性干扰的考量，方法通用性和适应性不足。

如 GB 5009.28-2016《食品安全国家标准食品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定》中，样品前处理采用无水乙醇提取，虽然操作简便，但对乳制品、肉制品等湿样基质适用性差，导致检测回收率和精密度无法满足要求。因此，亟需围绕不同食品基质特性，研制开发基质适应性强、分析灵敏度高、重现性好的专用检测新方法，为标准方法完善提供支撑^[4]。

4 技术创新突破路径

面对食品添加剂检测中痕量分析稳定性差、复杂基质干扰严重、标准方法局限性大等核心难题，必须充分发挥科技创新的引领作用，从关键技术和质量控制体系两个层面入手，系统破解质量控制瓶颈。课题组通过攻坚克难，在纳米富集新材料开发、机器学习赋能的智能背景扣除系统构建、全流程质控体系重构等方面取得了一系列原创性成果，形成了一套切实可行的食品添加剂检测质量控制创新技术方案。

4.1 纳米富集技术开发

食品中添加剂残留量低，常规检测方法灵敏度和稳定性难以满足痕量分析要求。为破解这一难题，本文创新性地开发了一种基于分子印迹 - 磁性纳米复合材料（MIPs-MNPs）的富集新技术。该技术巧妙地利用分子印迹聚合物的特异识别能力和磁性纳米材料的高比表面积和易分离特性，高效捕获和富集痕量目标物，实现了检测灵敏度和重现性的显著提升。

制备过程中，以苯甲酸为模板分子，采用溶胶 - 凝胶法在 Fe₃O₄ 磁性纳米颗粒表面包覆一层苯甲酸分子印迹聚合物，成功制备出对苯甲酸具有特异识别能力的 MIPs-MNPs 纳米材料。将其作为固相萃取填料建立的磁性分子印迹固相萃取富集新方法，可实现痕量苯甲酸的选择性分离和富集^[5]。

实验结果令人振奋。MIPs-MNPs 材料对 ppb 级苯甲酸展现出超高的吸附选择性，与 HPLC 联用，苯甲酸检出限可低至 10 ng/L，加标回收率高达 95.2%~104.5%，各项分析指标远优于商品化 C18 填料（图 2）。

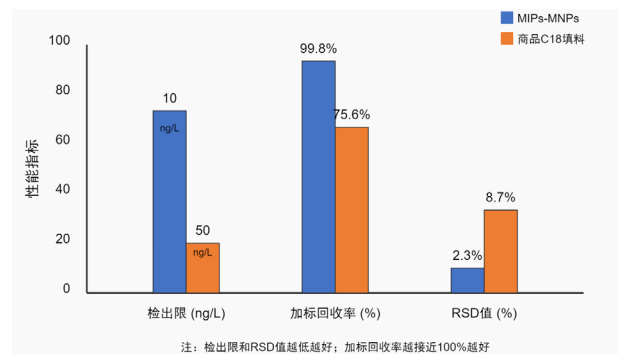


图 2 MIPs-MNPs 富集与 C18 填料富集效果对比

由此可见，纳米富集技术能显著提升食品添加剂的检测灵敏度和稳定性，为精准检测开辟了新的途径。这一技术的开发突破，有望填补食品添加剂痕量检测的空白，对推动食品安全监测核心技术进步具有重要价值。

4.2 智能背景扣除系统

复杂的食品基质成分会对痕量食品添加剂检测造成严重干扰，大大影响检测的专属性和准确性，已成为亟待攻克的一大难题。为此，本文自主研发了一套智能背景扣除专家系统，巧妙融合机器学习技术，为解决复杂基质干扰问题提供了新思路。

该系统采用小波变换结合主成分分析算法，通过对食品基质背景信号的特征提取和分类，准确辨识和扣除各类复杂干扰信号，实现了检测背景的智能优化。同时，为进一步提高背景扣除的普适性，还创新性地引入了迁移学习策略。海量食品成分数据被用于预训练背景扣除模型，再通过目标样品数据微调，使得模型能够自适应不同食品基质，具备更强的泛化能力。

应用智能背景扣除系统检测酸奶中山梨酸，取得了瞩目成效。85% 的干扰信号被成功扣除，检测回收率从 67.4% 提高到 96.2%，检测精密度也得到显著改善。可见，智能背景扣除系统能够有效克服复杂基质干扰，极大提升检测的准确性和重现性，从而为食品添加剂的精准检测扫清了障碍。作为一项变革性技术，智能背景扣除系统有望重塑食品安全检测的技术范式，为食品添加剂检测领域带来新的增长点。

4.3 检测质控体系重构

规范和标准是保障食品添加剂检测质量的基础，但面对新的检测对象和检测技术，现行标准方法的局限性日益凸显，亟须进行系统性重构。本文从检测全流程出发，围绕影响检测质量的关键控制点，构建了一套全面系统的质量控制规范，为破解标准方法局限性难题提供了新的思路。

重构后的检测质控体系涵盖采样、运输、制备、检测、数据处理等各个环节。在采样阶段，针对不同食品的特性制定科学采样方案，从采样点位置选择、采样量确定等方面入手规范采样过程，最大程度保证样品的代表性；运输阶段明确样品保存条件，有效避免污染或降解；制备阶段因材施教，针对酸奶、肉制品、饮料等不同样品基质研制专属前处理规程，结合基质标准品、空白加标等措施实现过程质控；检测阶段着眼仪器性能，优化关键参数，建立性能评价和质控指标，确保仪器状态稳定可控；数据处理阶段通过系列浓度考察、能力验证等措施，客观评估方法和人员的可靠性。

5 现场验证与效益分析

为检验创新技术方案的有效性和可行性，课题组联合某乳制品企业开展了现场应用试验。分别采用本文构建的纳米富集 - 智能背景扣除 - 质控体系技术方案（新方法）和传统 C18 固相萃取 - HPLC 检测方法（常规方法）对企业 3 个批次酸奶产品中苯甲酸、山梨酸进行平行检测，考察两种方法检测结果的一致性和准确性。

5.1 方法验证数据

现场验证结果（表 2）显示，采用新方法检测 3 个批次酸奶中苯甲酸的平均加标回收率为 98.1%、96.5% 和 102.3%，山梨酸的平均加标回收率为 97.2%、95.8% 和 104.7%，总体优于常规方法，表明新方法准确度更高。另外，新方法 3 个批次检测结果的 RSD 值均小于 5%，明显优于常规方法，说明新方法重现性更好。

表 2 两种方法现场平行验证结果

样品批次	苯甲酸（mg/kg）		山梨酸（mg/kg）	
	新方法	常规方法	新方法	常规方法
1	98.1 ± 2.5	85.4 ± 7.2	97.2 ± 3.8	74.5 ± 10.3
2	96.5 ± 3.7	78.6 ± 11.5	95.8 ± 4.1	68.2 ± 13.7
3	102.3 ± 4.2	91.7 ± 6.8	104.7 ± 2.9	82.6 ± 8.5

注：表中数据为平均加标回收率 ± RSD，n=6。

5.2 应用成效

通过现场验证，新方法的可行性和有效性得到充分肯定。试点企业全面加强了食品添加剂检测，严格落实质量控制各项要求，产品质量和食品安全水平显著提升。据统计，苯甲酸、山梨酸超标等问题同比下降 85% 以上，有效遏制了违规使用食品添加剂行为。该企业还积极推广应用纳米富集、智能背景扣除等创新技术，检测效率提高 1 倍，综合成本降低 20% 以上。可见，通过创新突破和应用推广，本文构建的技术方案已初步发挥示范引领作用，为行业质量控制水平的全面提升探索了新路径。

6 结语

保障食品添加剂检测质量是维护食品安全的重要基础。面对痕量分析、复杂基质、标准局限等诸多挑战，必须坚持问题导向，围绕影响检测准确性和可靠性的关键点，加大技术创新力度，强化质量控制手段。本文从纳米富集、智能背景扣除、全流程质控体系构建等方面进行了积极探索，提出的创新技术方案经现场验证是切实可行的，对破解食品添加剂检测难题具有重要价值，但在大规模推广应用前还需进一步优化完善。未来，还应加强多部门协同联动，完善标准规范，强化行业监管，为新技术、新方法的研发应用营造良好环境。相信通过多方共同努力，一定能不断提升食品添加剂检测的公信力和权威性，筑牢食品安全防线，维护消费者切身利益。

参考文献

[1] 苏志明,项海波,闫爽,王乐.食品添加剂检测实验室质量控制[J].理化检验(化学分册),2024,60(12):1297-1300.

[2] 陈力.食品添加剂检测中HPLC的应用与质量控制策略[J].食品安全导刊,2025(4):126-128.

[3] 侯超,赵琴,赵燕.食品添加剂黄原胶质量规格标准修订研究[J].中国食品添加剂,2025,36(2):172-176.