 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i8.11550

# Application and Quality Control Measures of Liquid Chromatography in the Detection of Aflatoxins in Foods

**Wanyue Liu**

Wuhan Huace Testing Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

**Abstract**

Aflatoxin is a highly carcinogenic mycotoxin commonly encountered during food processing and storage, particularly prevalent in grains, oils, nuts, dairy products, and related foods. Long-term exposure may impair liver and kidney function and compromise the immune system; thus, aflatoxin detection has become a critical component of food safety management. High-performance liquid chromatography (HPLC) offers advantages such as high sensitivity, excellent separation performance, precise quantification, and strong resistance to matrix interference, making it the predominant technique for aflatoxin detection in food. To maximize its technical benefits and obtain accurate results, it is essential to clarify key aspects of HPLC application in food aflatoxin analysis, rigorously control core steps—including sample preparation, optimization of chromatographic conditions, derivatization techniques, and instrument operation—and implement robust quality management measures.

**Keywords**

food safety; liquid chromatography; aflatoxin detection; key application considerations

# 液相色谱法在食品中黄曲霉毒素检测中的应用与质控措施研究

刘婉月

武汉市华测检测技术有限公司，中国 · 湖北 武汉 430000

**摘　要**

黄曲霉毒素是食品加工储存中常见的强致癌性真菌毒素，在粮油、坚果、乳制品等食品中检出率较高。长期摄入会损伤人体肝肾器官、破坏免疫系统，因此黄曲霉毒素检测是食品安全管控的重要环节。高效液相色谱法灵敏度高、分离与定量效果好、抗基质干扰能力强，是目前食品黄曲霉毒素检测的主流技术。明确该技术的应用要点，把控样品前处理、色谱条件优化、衍生化处理、上机检测与定量分析等核心环节，配合完善的质量管理措施，可充分发挥技术优势，保障检测结果精准可靠。

**关键词**

食品安全；液相色谱法；黄曲霉毒素检测；应用要点

## 1 引言

食品安全问题是现阶段社会关注的焦点问题，关乎食品行业的可持续发展及公众的人身健康。而在食品安全监管当中黄曲霉毒素是较为常见的毒素，谷物霉变、仓储潮湿、运输不当等相应场景都有可能会引发食品黄曲霉毒素污染，必须加强检测。液相色谱法的应用则可以获得准确的检测结果，为保障食品安全打下坚实基础。

【作者简介】刘婉月（1997–），女，中国河南遂平人，本科，从事食品检测研究。

## 2 液相色谱法检测食品中黄曲霉毒素的应用要点

### 2.1 样品前处理

样品前处理是食品黄曲霉毒素检测中最为关键、对结果影响最大且最为耗时的一大核心步骤。若前处理操作不规范食品中黄曲霉毒素检测结果的准确性、真实性、可靠性会受到严重冲击。而样品前处理的核心目的在于去除食品中淀粉、脂肪、蛋白质、色素等相应干扰杂质，提取黄曲霉组分，降低基质效应，确保检测的灵敏度和回收率。在前处理中需要紧抓代表性取样、样品均质制备、溶剂萃取、净化浓缩等相应关键步骤规范开展操作。在取样与样品制作的过程中应遵循随机性、代表性、均匀性原则。尤其是粮油作物、坚果、粮食等食材很容易会出现不均匀污染、局部霉变的情

况，因此仅选择表层或无霉变部位作为样品则会严重低估食品污染水平，出现漏检、误判等相应问题。固体颗粒物样品可以按四分法缩分取样，充分混合后借助高速粉碎机粉碎，通过 40 目标准筛，确保样品粒径均匀，在密闭、避光保存以后将样品运送至实验室。而液态植物油等相应样品则需要恒温震荡混匀消除分层现象，确保取样均匀。待测样品制备期间，需同步制备平行样、空白样、加标回收样，为后续质量判定、问题分析提供依据。

萃取是毒素提取的核心，需要根据食品的基质差异选择适配萃取体系。一般情况下，高淀粉谷物类食品基质杂质较为简单，可以采用甲醇 - 水萃取体系，在保障萃取效率的同时控制萃取成本。高脂坚果、植物油、高蛋白乳制品的基质较为复杂，很容易受脂肪和蛋白质影响后续检测，可以采用乙腈 - 水萃取体系，利用乙腈选择性萃取能力更强的优势提取黄曲霉素，抑制共萃取杂质的生成。现阶段实验室中主流的萃取方式为超声辅助萃取，可以大幅提高萃取效率，但是需要注意在萃取的过程中控制环境温度和萃取时间，萃取完成后高速离心处理，取上层清液待净化。

在净化环节可选择免疫亲和柱净化技术，借助抗原抗体特异性结合原理靶向吸附黄曲霉毒素，提升净化纯度。实际操作中工作人员需提前活化、平衡色谱柱，控制上样流速、淋洗次数和洗脱体积，避免影响后续检测结果。还需注意不同基质样品在标准化前处理后的回收率指标是存在一定差异的，具体如表 1 所示。

**表 1 不同食品基质黄曲霉毒素检测回收率指标**

| 样品类型 | 毒素种类 | 回收率范围 /% | 相对标准偏差 /% |
|---|---|---|---|
| 谷物粮油 | AFB1 | 88.5~95.2 | ≤3.5 |
| 坚果干果 | AFB1 | 86.3~93.7 | ≤4.0 |
| 植物油 | AFB1 | 85.1~92.5 | ≤4.2 |
| 乳制品 | AFB1 | 87.2~94.1 | ≤3.8 |

## 2.2 色谱检测条件优化

色谱检测条件对于黄曲霉素组分分离度、峰形对称性、检测稳定性的影响是相对较高的，保障参数组合合理科学可以有效消除峰重叠、峰拖尾、基线偏移、杂峰干扰等相应问题，为黄曲霉素的完全分离和精准定量提供必要保证。而色谱参数设置并非固定不变的，应根据实验室环境、仪器状态、色谱柱损耗程度进行优化调整，具体核心参数如表 2 所示。

**表 2 高效液相色谱法检测黄曲霉毒素核心色谱参数**

| 检测项目 | 标准参数设置 |
|---|---|
| 色谱柱 | C18 反相色谱柱（4μm，3.9mm×150mm） |
| 流动相 | 甲醇 : 超纯水 =45:55（V/V） |
| 流动相流速 | 1.0mL/min |
| 色谱柱柱温 | 30℃ |
| 荧光检测波长 | 激发 360nm、发射 440nm |
| 上机进样量 | 5μL |
| 检测时长 | 20min |

在色谱柱选择的过程中可以引入常规C18 反相色谱柱，适配黄曲霉毒素极性特征。新色谱柱使用前需要做好平衡老化，旧色谱柱需定期进行冲洗维护，避免杂质残留。在流动相配置中可以选择色谱纯甲醇与超纯水，避免基线不稳、空白超标的相应问题。流动相配置结束以后需通过超声脱气 20 min 去除溶解气泡。柱温对于检测结果的影响也是相对较大的，在检测过程中需全程保持柱温恒温 30 ℃。荧光检测器作为专属检测器，可根据黄曲霉素的天然荧光特性进行检测，360 nm 激发波长、440 nm 发射波长是黄曲霉素检测中的最优响应波长，可以提高荧光信号强度，降低检出限。在此之后工作人员还需要做好进样量的控制。

## 2.3 衍生化处理

黄曲霉毒素中 AFB1 和 AFG1 的天然荧光量子产率相对较低，低浓度残留状态下荧光响应信号较弱，若单纯依靠液相色谱检测则无法满足微量、痕量筛查需求，很容易出现漏检问题，而 AFB2、AFG2 天然荧光强度较高，为确保检测灵敏度可采用衍生化处理技术增强荧光响应强度。现阶段在食品检测领域主流衍生化处理技术为柱后衍生法，常用衍生试剂为碘衍生试剂。在试剂应用中需遵循现用现配原则，配制结束后应避光、密封保存，避免氧化失效。衍生反应池的温度可以控制在 60 ~ 70 ℃，温度过低则会导致衍生反应不完全，荧光增益效果不足。温度过高则会导致黄曲霉毒素分子结构被破坏，出现定量结果偏低的问题。衍生试剂的流速可以控制在 0.3 mL/min，确保洗脱组分与衍生试剂充分接触、充分反应 [1]。

## 2.4 上机检测与定量分析

上机检测与定量分析是获取最终实验数据、判定样品合格性的收尾环节，其操作规范性将会直接影响检测结果的准确性与权威性。在仪器开机后需执行完整的自检流程，对系统的压力、基线、噪声、流通池状态进行检测。正式进样前需依次进样空白溶剂、空白基质溶液，避免出现系统污染、容器污染、器具污染等相应问题。定量检测采用外标法，检测前梯度配制黄曲霉毒素混合标准工作液，由高浓度至低浓度依次进样，绘制标准曲线，满足微量定量检测要求。样品上机检测期间每一组样品需设置三组平行进样，峰面积相对偏差应控制在 5% 以内，偏差超标则意味着仪器状态不稳定或样品不均匀需重新检测。在批量检测的过程中每十组样品可插入一组中间浓度质控标准品，分析仪器漂移情况，校正系统误差。检测结束以后则需要根据样品峰面积代入标准曲线公式，计算待测液毒素浓度，换算黄曲霉毒素实际含量，判定样品是否合格 [2]。

# 3 液相色谱检测黄曲霉毒素的质量控制措施

## 3.1 仪器设备与试剂耗材的质量控制

仪器设备和试剂耗材是黄曲霉毒素检测的重要物质基础，对检测结果的准确性、真实性和可靠性影响极大。尤其

是实验室应用的高效液相色谱仪、荧光检测器、十万分之一电子天平、超声萃取仪、氮气吹干仪等精密检测设备，若运行状态不佳、稳定性不足会直接影响最终检测结果，因此必须做好设备精细化管理。相关单位应根据设施设备的运行状态、老化程度动态调整设备运行与保养规范，建立设备台账、维护台账 [3]。在设备日常使用前完成自检、期间核查，确保设备运行状态符合检测标准。同时需定期将设备送检校准，确保设备处于最优运行状态。实验耗材实行分级管控、批次核查，萃取剂、流动相溶剂必须选用色谱纯级别，杜绝使用不符合标准的试剂，降低基线干扰。此外玻璃器具、离心管、滤膜、清洁剂等所有实验耗材均需符合国家标准规定，做好前置清洁处理，每批次耗材需开展空白验证实验，规避耗材自带污染影响检测结果 [4]。

### 3.2 实验室全过程标准化控制

在液相色谱法检测黄曲霉素的过程中影响检测结果的干扰因素较多，人为操作不规范、实验流程不统一等问题均会引发实验误差，干扰检测结果。为有效规避误差还需落实实验全过程标准化管控。在前处理环节应统一操作参数和执行标准，明确样品超声时间、萃取温度、离心转速、氮吹温度等固定实验参数，制定标准化操作规范，杜绝人为操作误差。其中氮吹温度需严格控制在 40 ~ 50 ℃，温度过高易导致待测组分挥发损失，温度过低会降低浓缩效率造成组分残留。而在亲和柱净化过程中需稳定控制流速，规避流速波动，保证所有样品毒素吸附、洗脱效率一致，确保批次回收率稳定可控。同时落实实验室环境常态化管控，为检测实验开展提供良好条件 [5]。检测实验室温度维持在 20 ~ 25 ℃，相对湿度控制在 50% ~ 65%，保障仪器设备稳定运行、试剂理化性质稳定，实验室应推行分区管理，彻底规避样品交叉污染问题。

### 3.3 检测数据与实验结果质量控制

数据质控是保障检测结果精准、可靠、具备参考价值的重要基础。数据管理阶段需保证所有原始数据实时记录、真实完整，可依托区块链等现代化技术的不可篡改特性保障数据真实性。实验配套空白对照、加标回收对照、平行样对照三重质控手段，其中加标回收率需控制在 85% ~ 95% 之间。平行样相对标准偏差按浓度梯度差异化管控，高浓度样品控制在 3% 以下，低浓度痕量样品控制在 5% 以下。每次实验需现场绘制标准曲线，严控计量偏差。检测数据实行双人审核制度，及时排查数据误差，保障检测结果科学、精准、权威 [6]。

## 4 结语

高效液相色谱法具有定量精准、稳定性好、抗干扰能力强、适用范围广等相应优势，是现阶段食品黄曲霉素检测中常用的检测方法。在该项技术应用过程中相关实验室必须严格遵循黄曲霉素检测流程强化技术应用管控，保障检验工作规范化、标准化开展，配套落实设备耗材管理、实验全过程质控、数据精准管控等措施确保检测结果真实可靠，精准反馈食品中黄曲霉毒素的实际污染情况，为食品安全监管提供精准的数据支撑。

## 参考文献

[1] 李婷. 黄曲霉素的危害及检测方法 [J]. 今日畜牧兽医, 2024, 40 (6): 68-70.

[2] 蔡姝,张荣荣,邓飞燕. 高效液相色谱技术在食品检测中的应用探讨 [J]. 现代食品, 2020, (23): 123-125.

[3] 颜昉芩. 高效液相色谱技术在食品检测中的具体应用探讨 [J]. 食品安全导刊, 2020, (27): 155-156.

[4] 陈靖文. 黄曲霉素的检测方法及预防措施 [J]. 科学技术创新, 2019, (20): 47-48.

[5] 司鸿银. 超高效液相色谱快速测定粮食中黄曲霉毒素含量 [J]. 食品安全导刊, 2019, (18): 73-74.

[6] 程家兴. 超高效液相色谱串联质谱检测水中抗生素及果蔬中的霉菌毒素[D]. 北京化工大学, 2019.