

# 粮食储藏过程中黄曲霉毒素检测与去除进展研究

张玉坤

台安县粮油质量卫生监测站 辽宁 鞍山 114100

**摘要:** 黄曲霉毒素污染粮食严重威胁粮食安全与人体健康, 对其在粮食储藏过程中的相关研究意义重大。本文先阐述其产生原因, 包括环境、粮食自身及储藏管理因素。接着研究检测技术进展, 涵盖传统、免疫亲和柱净化-高效液相色谱和快速检测技术。并探讨了去除方法进展, 物理方法有筛选、辐射处理、吸附法; 化学方法有含碱、氧化剂、氯化处理法; 生物去除技术包括微生物降解与酶降解法。旨在为保障粮食质量安全, 降低黄曲霉毒素危害提供理论与技术支持。

**关键词:** 粮食储藏; 黄曲霉毒素; 检测; 去除; 进展

## 引言

粮食储藏安全关乎国计民生, 而黄曲霉毒素污染是影响粮食质量的关键因素之一。黄曲霉毒素具有强致癌性, 一旦粮食受其污染, 不仅会造成巨大经济损失, 更会严重威胁人体健康。在粮食储藏过程中, 黄曲霉毒素的产生受环境、粮食自身及储藏管理等多方面因素影响。为保障粮食安全, 对黄曲霉毒素的检测与去除研究至关重要。本文将深入探讨粮食储藏中黄曲霉毒素的产生原因, 详细阐述检测技术的进展, 并研究去除方法的最新成果。

## 1 粮食储藏过程中黄曲霉毒素的产生原因

### 1.1 环境因素

温度与湿度是关键因子, 黄曲霉菌生长繁殖适宜温度范围为12-42℃, 产毒适宜温度是24-28℃, 当储藏环境温度处于此区间, 黄曲霉菌易大量滋生并产毒。黄曲霉菌生长最低相对湿度为80%-85%, 粮食含水量高且储藏环境湿度大时, 为其生长提供有利条件。空气条件方面, 氧气含量对黄曲霉菌生长和产毒有重要作用, 黄曲霉菌是好氧微生物, 有氧环境下能正常生长代谢并产生黄曲霉毒素, 缺氧环境则抑制其生长和产毒。另外, 空气中其他成分也会影响黄曲霉菌生长, 如二氧化碳浓度过高时会产生一定影响, 不过相较于温度和湿度, 其影响程度较小。在粮食储藏中, 若对温度、湿度和空气条件控制不当, 就可能为黄曲霉菌创造适宜生长和产毒的环境, 导致粮食受黄曲霉菌污染, 进而产生黄曲霉毒素, 威胁粮食安全与人体健康, 因此需重视这些环境因素对黄曲霉毒素产生的影响并加以有效控制。

### 1.2 粮食自身因素

品种与特性方面, 不同品种粮食对黄曲霉菌抗性不同。部分品种粮食具备较好抗虫、抗病能力, 能在一定

程度上降低黄曲霉菌侵染几率。一些品种因自身营养成分组成和含量, 更利于黄曲霉菌生长产毒, 像富含淀粉和脂肪的玉米、花生等, 在合适条件下易受黄曲霉菌污染。粮食损伤与破碎也是关键因素。粮食在收获、运输及储藏环节, 难免遭受机械损伤, 出现破碎、裂纹状况。受损粮食颗粒给黄曲霉菌侵入创造便利, 黄曲霉菌可经破损部位进入粮食内部, 利用其中营养物质生长繁殖并产毒<sup>[1]</sup>。同时, 受损粮食呼吸作用增强, 会产生更多热量和水分, 这进一步恶化储藏环境, 为黄曲霉菌生长产毒提供更有利条件。所以, 在粮食储藏的过程中要重视粮食自身因素对黄曲霉毒素产生的影响, 选择抗性强的品种, 尽量减少粮食在各环节的损伤破碎, 以此降低黄曲霉菌侵染风险, 保障粮食质量安全。

### 1.3 储藏管理因素

储藏设施与设备方面, 其状况至关重要。若储粮仓库密封性能欠佳, 外界湿气易侵入, 致使粮食含水量上升, 为黄曲霉菌生长提供条件。仓库通风设备不完善时, 无法及时排出粮食呼吸产生的热量与湿气, 会造成仓库内温湿度升高, 利于黄曲霉菌滋生。而且, 部分老旧储粮设备清洁不彻底, 残留的粮食杂质和霉菌孢子会成为新污染源, 加大粮食受黄曲霉菌污染的风险。储藏时间也是重要因素。粮食储藏时间过长, 其营养成分会逐渐改变, 部分营养成分被分解或转化, 粮食抗病能力降低。同时, 长时间储藏使粮食受外界环境因素影响的机会增多, 温度、湿度等出现波动, 这些变化都可能引发黄曲霉菌生长和产毒。因此, 在粮食储藏管理中, 要重视储藏设施设备的维护与更新, 确保仓库密封性和通风设备良好, 定期彻底清洁储粮设备, 同时合理控制粮食储藏时间, 降低黄曲霉毒素产生的可能性。

## 2 粮食储藏过程中黄曲霉毒素的检测技术进展研究

## 2.1 传统检测技术

(1) 高效液相色谱法 (HPLC), HPLC其原理是依据不同物质在固定相和流动相间分配系数差异实现分离,再借助检测器对分离后的物质开展定量分析。此方法具备高灵敏度和高准确性的优势,能精准测定粮食里黄曲霉毒素的含量。不过,HPLC存在明显不足,其设备价格高昂,操作流程复杂,需要专业技术人员进行操作与维护,而且检测耗时较长。(2) 薄层色谱法 (TLC), TLC是一种较为简单的检测方法。它将样品点在薄层板上,通过展开剂使黄曲霉毒素与其他成分分离,然后在特定波长下进行检测。TLC成本较低,操作相对简单,但灵敏度和准确性相对较低,容易受到外界因素的干扰,适用于初步筛选和现场快速检测<sup>[2]</sup>。(3) 酶联免疫吸附法 (ELISA), ELISA是基于抗原-抗体反应的检测手段。先把黄曲霉毒素抗体固定在固相载体上,加入待测样品,若样品含黄曲霉毒素,就会与抗体结合,再加入酶标记的二抗,通过底物显色反应判断黄曲霉毒素含量。ELISA操作简便、快速,灵敏度较高,适合大批量样品检测,但是该方法可能出现假阳性或假阴性结果,实验条件需严格控制。

## 2.2 免疫亲和柱净化-高效液相色谱法

免疫亲和柱净化-高效液相色谱法是一种融合免疫亲和柱特性与高效液相色谱 (HPLC) 优势的黄曲霉毒素检测技术。其检测是先在免疫亲和柱内预先填充能与黄曲霉毒素特异性结合的抗体,检测时让待测样品通过免疫亲和柱,依据抗体与抗原的特异性结合原理,样品里的黄曲霉毒素会被选择性吸附在柱内,其他杂质成分随洗脱液流出,实现黄曲霉毒素的初步分离与净化,有效去除大量干扰物质;完成吸附后,用合适溶剂将吸附在免疫亲和柱上的黄曲霉毒素洗脱下来并收集洗脱液,再把洗脱液注入高效液相色谱系统,HPLC凭借不同物质在固定相和流动相间分配系数的差异对洗脱液中的黄曲霉毒素高效分离,最后通过检测器对分离后的黄曲霉毒素进行定量分析。该方法因有免疫亲和柱净化步骤,极大减少了样品基质对检测的干扰,显著提高了检测准确性和灵敏度,能更精准测定粮食中黄曲霉毒素含量,但免疫亲和柱制备成本高,且整个检测过程步骤多、涉及精密仪器,整体成本较高,这在一定程度上限制了其在大规模常规检测中的广泛应用。

## 2.3 快速检测技术

(1) 基于光学原理的快速检测技术中,荧光光谱法是典型代表。其利用黄曲霉毒素的荧光特性开展检测工作。当激发光照射到含黄曲霉毒素的样品时,黄曲霉毒

素会发射特定波长的荧光,通过检测荧光的强度与波长,能够确定黄曲霉毒素的含量,此技术具备快速、无损的优势,不过为提高检测准确性,需对样品进行适当处理<sup>[3]</sup>。(2) 电化学传感器检测技术方面,电化学传感器是将化学信号转化为电信号的装置,针对黄曲霉毒素的电化学传感器,一般利用黄曲霉毒素与特定识别元件结合,进而引发电化学信号变化,以此实现对黄曲霉毒素的检测。该技术灵敏度高、响应速度快且成本低,具有实现现场实时检测的潜力。(3) 生物传感器检测技术结合了生物识别元件和信号转换器。在黄曲霉毒素生物传感器里,生物识别元件可以是酶、抗体或细胞等,它们能特异性识别黄曲霉毒素,再通过信号转换器把识别信号转化为可测量的电信号、光信号等。生物传感器检测技术具有高特异性、高灵敏度和快速检测的特点,在黄曲霉毒素检测领域展现出独特优势。随着技术的不断发展,这三种快速检测技术都在持续改进和完善,它们为粮食储藏过程中黄曲霉毒素的检测提供了更多选择,有助于更及时、准确地掌握粮食中黄曲霉毒素的污染情况。

## 3 粮食储藏过程中黄曲霉毒素的去除方法进展研究

### 3.1 物理去除方法

一是筛选法,筛选法是通过筛选设备将粮食中受到黄曲霉污染的颗粒、杂质等去除,从而降低粮食中黄曲霉毒素的含量。常用的筛选设备有振动筛、风选机等。筛选法操作简单,成本较低,但只能去除部分较大的污染颗粒,对于微小的污染颗粒和吸附在粮食内部的黄曲霉毒素去除效果较差。二是辐射处理法,辐射处理法是利用紫外线、 $\gamma$ 射线等辐射能量破坏黄曲霉毒素的分子结构,使其失去毒性。紫外线辐射处理操作简便,但穿透力较弱,只能对粮食表面进行消毒处理,对粮食内部的黄曲霉毒素去除效果有限。 $\gamma$ 射线辐射处理具有较强的穿透力,能够深入粮食内部破坏黄曲霉毒素,但辐射剂量需要严格控制,否则可能会影响粮食的品质和营养成分。三是吸附法,吸附法是利用吸附剂对黄曲霉毒素的吸附特性,将粮食中的黄曲霉毒素去除<sup>[4]</sup>。常用吸附剂包括活性炭、硅藻土、膨润土等。此方法操作简单,成本较低,不过吸附剂的选择和用量需依据粮食种类与黄曲霉毒素含量优化,而且吸附后的吸附剂要妥善处理,防止造成二次污染。

### 3.2 化学去除方法

第一,碱处理法借助碱溶液,如氢氧化钠、氢氧化钙等,与黄曲霉毒素发生化学反应,破坏其结构使其失去毒性。该方法操作简便,成本不高,但碱溶液浓度和处理时间必须严格把控。若浓度过高或处理时间过长,

会改变粮食的内部结构,影响粮食品质和口感;若浓度过低或处理时间过短,则无法有效去除黄曲霉毒素。而且,碱处理后的粮食需进行中和与清洗,以去除残留碱液,否则残留碱液会进一步损害粮食品质,还可能对人体健康造成潜在威胁。第二,氧化剂处理法利用氧化剂,如过氧化氢、臭氧等的强氧化性,破坏黄曲霉毒素分子结构,使其失毒。此方法反应速度快、去除效果好,但同样要严格控制氧化剂浓度和处理时间。过高的氧化剂浓度或过长的处理时间,会破坏粮食中的营养成分,降低粮食的营养价值。处理完成后,也需对粮食进行清洗,去除残留氧化剂,防止残留氧化剂在储存或食用过程中产生不良影响。第三,氨化处理法通过氨气与黄曲霉毒素发生化学反应,破坏其结构来去除毒性。该方法操作相对简单,去除效果较好,然而氨气有刺激性气味,在操作过程中,操作人员长时间接触可能会对呼吸道、眼睛等造成伤害,并且氨化处理后的粮食要进行通风处理,以去除残留氨气,避免残留氨气影响粮食的储存品质和食用安全性。

### 3.3 生物去除技术

粮食储藏中,生物去除黄曲霉毒素技术主要涵盖微生物降解法与酶降解法。微生物降解法借助细菌、真菌等特定微生物产生的酶或代谢产物,将黄曲霉毒素转化为无毒或低毒物质,目前已发现多种微生物具备此能力。该方法优势突出,环保、安全又高效,去除毒素时既不会对环境造成二次污染,也不会给粮食带来其他有害影响,但微生物生长和代谢受环境条件影响大,温度、湿度、酸碱度等因素都会改变其活性与降解能力,所以要实现良好降解效果,需优化培养条件,提供适宜温度、充足养分等,同时改进降解工艺,控制微生物接种量、反应时间

等<sup>[5]</sup>。酶降解法利用特定酶对黄曲霉毒素进行催化降解,破坏其结构使其失毒,常用酶有过氧化物酶、漆酶等,该方法反应条件温和,能在相对适宜环境下反应,选择性好可精准作用于毒素,降解效率高能在短时间内降低毒素含量,不过酶的稳定性和活性受环境条件影响明显,温度、pH值变化都可能使酶失活,因此要开发合适的酶固定化技术,将酶固定在特定载体上,并构建合理反应体系,以此提高酶的稳定性和重复使用率,降低处理成本。

### 结语

综上所述,在粮食储藏的过程中黄曲霉毒素的产生受环境、粮食自身及储藏管理等多因素影响,严重威胁粮食安全与人体健康。当前,黄曲霉毒素的检测技术日益精进,传统方法不断优化,新型快速检测技术也层出不穷。同时,物理、化学、生物等多种去除方法的研究与应用,为降低粮食中黄曲霉毒素含量提供了更多可能。未来,需进一步加强技术创新与集成应用,提升检测与去除的效率和准确性,以保障粮食质量安全。

### 参考文献:

- [1]胡振阳,都立辉,袁康,等.稻谷黄曲霉毒素的检测与污染控制研究进展[J].中国粮油学报,2020,35(1):175-185.
- [2]陈海生.粮食中黄曲霉毒素检测的免疫层析技术应用研究[J].中外食品工业,2025(12):43-45.
- [3]马艳玲,邓颖瑶,庄木园,等.粮食中黄曲霉毒素B<sub>1</sub>减毒技术应用研究进展[J].广东农业科学,2025,52(5):16-30.
- [4]徐宇阳,杨儒颖,张彦哲,等.现代光学方法去除黄曲霉毒素的研究进展[J].大学化学,2024,39(11):174-181.
- [5]常程程,丁梓雪,王彦钦,等.微生物对黄曲霉毒素去除的研究进展[J].中国饲料,2023(23):138-143.