



农产品黄曲霉毒素抗体 创制原理与检测技术

(第二版)

李培武 等 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

农产品黄曲霉毒素抗体 创制原理与检测技术

(第二版)

李培武 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

黄曲霉毒素是迄今发现污染农产品毒性最强的一类真菌毒素,其高灵敏检测技术,尤其是适合现场使用的高灵敏快速检测技术,对保障农产品食品消费安全和农业生产全程质量控制具有特别重要的意义。作者团队将近二十年系统研究取得的重要突破和创新性成果凝练成此著作。在第一版基础上,新增了新型免疫标记、非标记及无毒替代物绿色免疫检测技术的新进展与发展趋势等内容,形成了第二版。本书阐明了黄曲霉毒素分子免疫活性位点及其对抗体的高亲和力靶向诱导效应学说、靶向诱导效应从免疫动物到体外杂交瘤的高效传递途径,系统介绍了黄曲霉毒素总量与分量单克隆抗体、基因重组抗体、纳米抗体创制与特性表征、黄曲霉毒素高灵敏检测技术与标准体系构建、试剂盒和检测仪器等系列产品研发及其在植物源性农产品、饲料、饼粕、中药材及食用油、调味品、乳品等领域,以及在全程质量控制中的应用。

本书适用于农产品种、收、储、运、加等各个环节黄曲霉毒素污染关键点控制以及食品生产过程控制、风险监测与风险评估等领域,可作为农产品食品质量安全科研、教学、推广、管理者及检验检测人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

农产品黄曲霉毒素抗体创制原理与检测技术/李培武等著. —2 版. —北京: 科学出版社, 2018.12

ISBN 978-7-03-059715-1

I. ①农… II. ①李… III. ①农产品-黄曲霉毒素-真菌抗原-研究
②农产品-黄曲霉毒素-微生物检定-研究 IV. ①S379.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 262901 号

责任编辑: 霍志国/责任校对: 韩 杨

责任印制: 肖 兴/封面设计: 东方人华

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 12 月第 二 版 印张: 29 1/4 插页: 4

2018 年 12 月第一次印刷 字数: 690 000

定价: 180.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

撰写人员

李培武：主要承担第一、二、三、四、五、六、七、十一章撰写

张 奇：主要承担第十、十二章撰写

张兆威：主要承担第八、九章撰写

胡小风、李 慧、喻 理：参加第八章部分章节的撰写

王秀嫔、王 督、马 飞：参加第九章部分章节的撰写

唐晓倩、姜 俊、张 文：参加第十章部分章节的撰写

丁小霞、白艺珍、毛 劲：参加第十二章部分章节的撰写

第二版序一

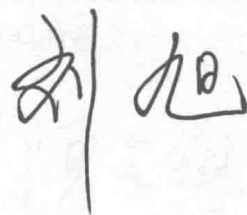
黄曲霉毒素是污染农产品的一类剧毒性真菌毒素，污染面广、致癌力强、危害重。玉米、花生、大米、牛奶、食用油等都易受到污染，严重影响这些产品的质量安全，威胁广大消费者的身体健康乃至生命安全，制约农业产业高质量发展和农产品国际贸易。黄曲霉毒素不同于农兽药残留，难以通过药源管理实现有效控制。因其属于天然污染物，在农产品生产、收获、储藏、运输、加工、流通等环节均会发生污染。因此，黄曲霉毒素高灵敏检测技术，尤其是适合现场使用的高灵敏快速检测技术，对及时发现黄曲霉毒素污染，实现全程控制，保障农产品消费安全具有特别重要的意义。

针对我国农产品及食品生产、质量安全监管和加工流通等领域对黄曲霉毒素高灵敏检测与控制的迫切需求，李培武研究员带领团队深入农产品生产、收获、储藏、流通及检验检测第一线，调研我国农产品黄曲霉毒素污染现状、技术需求和国内外检测技术发展动态，分析黄曲霉毒素检测与控制中存在的技术难题，并经过近二十年的系统研究，在黄曲霉毒素抗体创制与高灵敏检测技术研究方面取得了突破性进展，研制成功的系列检测技术、产品和专用仪器已在我国 20 多个省（直辖市、自治区）广泛应用，部分技术产品远销海外，在国内外同行中产生了重要影响。

作者基于其团队在国内外发表的学术论文和获得的发明专利，精心凝练编写成此书，从黄曲霉毒素抗体源头创制理论到高灵敏检测技术方法建立，再到检测产品与仪器研发三个层次，对黄曲霉毒素现代高灵敏检测技术进行了系统阐述。为了及时反映新型免疫层析、非标记及无毒替代物绿色免疫分析等检测技术的新进展，作者在第一版基础上，对著作的构架和内容进行了重新梳理、调整、修改和扩充完善，从而形成了第二版。

该著作凝聚了作者在黄曲霉毒素检测技术领域的多项研究成果，具有较高的学术价值和应用前景，在农产品质量安全研究领域具有较好的参考意义。该书的出版，将在保障农产品食品消费安全、支撑农业产业高质量发展、促进农产品质量安全科技进步和国际贸易等方面发挥积极作用。

中国工程院院士



2018 年 9 月

第二版序二

黄曲霉毒素主要包括 B、G 和 M 族，其中 B₁ 毒性最强，为氰化钾的 10 倍、砒霜的 68 倍，致癌力为农药六六六的 10 000 倍，1993 年被 WHO 定义为 I 类致癌物，限量标准日趋严格，对检测技术灵敏度要求越来越高。我国地处黄曲霉毒素污染较严重区域，玉米、花生、牛奶等农产品和食用油、花生酱、米制品等食品及饲料易受黄曲霉毒素污染，威胁消费安全，制约产业发展，高灵敏检测与控制技术对保障农产品消费安全具有特别重要的意义。

在国家自然科学基金、科技攻关及支撑计划、科技部科研条件专项、“863”课题、农业部质量安全重大专项等项目的连续资助下，作者及其课题组历经近二十年系统研究，提出了黄曲霉毒素免疫活性位点决定抗体亲和力的靶向诱导效应学说，探索出靶向诱导效应从免疫动物到体外杂交瘤及噬菌体选育应用的高效途径，创制出黄曲霉毒素总量与 M₁、B₁、G₁ 分量高灵敏单克隆抗体、基因重组抗体和纳米抗体，创建了黄曲霉毒素高灵敏检测技术与控制标准体系，在国内外权威核心期刊发表研究论文百余篇，获得中、美、日等国内外发明专利三十多项，研制出黄曲霉毒素高灵敏检测系列试剂盒产品和仪器，并在转化应用中取得了显著的社会与经济效益，在国内外产生了重要影响。

为了适应本领域快速发展，及时跟踪与反映新型免疫层析检测、非标记及无毒替代物绿色免疫等检测技术的新进展，作者在第一版基础上，对部分内容进行了修改调整，从而形成了第二版。全书共十二章，第一章对黄曲霉毒素检测技术的重要意义、现状和发展趋势进行概述，第二章和第三章分述了黄曲霉毒素靶向抗体创制的重要理论基础和实践，第四章至第十章分别总结了黄曲霉毒素的酶联免疫吸附检测技术、免疫亲和检测技术、新型免疫层析检测技术、非标记及无毒替代物绿色免疫检测技术，第十一章和第十二章介绍了黄曲霉毒素专用检测仪器研究进展、高灵敏检测技术发展趋势与应用前景，尤其在农产品黄曲霉毒素污染全程控制中将发挥重要作用。该书数据翔实，观点新颖，理论与实用价值大，是作者长期科研工作的宝贵结晶和重要成果，已成为农产品质量安全学科发展的重要标志。该书的出版对提升我国农产品与食品黄曲霉毒素检测水平，保障农产品及食品安全，促进农业产业可持续、高质量发展具有重要的意义。

中国工程院院士

陳志雄

2018 年 9 月于杭州

第二版前言

黄曲霉毒素是由黄曲霉 (*Aspergillus flavus*)、寄生曲霉 (*Aspergillus parasiticus*) 等产毒真菌产生的一类次生代谢物,是迄今发现污染农产品毒性最强、污染面最广、危害最大的一类真菌毒素。近年来,被鉴定出来的黄曲霉毒素结构种类累计达到约 20 种,主要包括 B 族、G 族和 M 族,其中 B₁ 毒性最强,为氰化钾的 10 倍、砒霜的 68 倍,致癌力为六六六农药的 10 000 倍,1993 年被 WHO 的 IARC (International Agency for Research on Cancer, 国际癌症研究机构) 定义为 I 类致癌物。黄曲霉毒素在农产品种、养、收、储运及加工等全过程中均易发生,严重影响农产品消费安全,威胁人民身体健康与生命安全,制约现代农业产业可持续发展和国际贸易,产品限量标准日趋严格,对高灵敏检测技术尤其是现场高灵敏检测技术要求越来越高。

我国地处黄曲霉毒素污染较严重区域,尤其湖北、江西、安徽等长江流域及以南地区属重污染区域。花生、玉米、大米等农产品易受黄曲霉毒素污染,全国每年因霉变毒素污染造成粮油损失近 300 多亿千克,还污染牛奶、油、果、茶、酱油、醋、饮料及中药材等 100 多种农产品、食品及饲料。据统计,近十年国际贸易中由黄曲霉毒素引发的预警通报比例约占三成,为所有农产品食品安全污染物之首。国内外曾发生过多起因黄曲霉毒素污染导致的人畜群体死亡事件。例如,英国因饲料污染导致 10 万多只火鸡暴死;印度、肯尼亚等都发生过超过 100 人死亡的群体中毒事件;2010 年我国中山大学随机抽取 310 名男生检测尿液黄曲霉毒素 M₁ 阳性率达 29%。由于黄曲霉毒素是由产毒真菌在自然条件下产生的生物毒素,只有通过检测及时发现污染风险,才能采取针对性污染控制措施,从而有效避免进入食物链造成危害。因此,高灵敏检测技术对农产品全程质量控制、保障农产品消费安全具有特别重要的意义。

作者及其课题组成员针对上述重大需求,研究探明了黄曲霉毒素分子免疫活性位点,发现了黄曲霉毒素免疫活性位点决定抗体亲和力的靶向诱导效应,建立了外源细胞因子调控的半固体培养-梯度筛选法,构建了靶向诱导效应从免疫动物传递到体外杂交瘤的高效途径;创制出系列黄曲霉毒素总量与 M₁、B₁、G₁ 分量高灵敏单克隆抗体、基因重组抗体和纳米抗体,并创建了黄曲霉毒素高灵敏检测技术与标准体系,研制出黄曲霉毒素高灵敏检测系列产品,包括黄曲霉毒素总量和分量检测试剂盒系列产品和专用检测仪器,实现了技术发明的产品转化,并在农产品质量安全管控中推广应用,获得了显著的经济效益和社会效益。

为了及时总结经验,反映黄曲霉毒素检测技术研究最新进展,本书在第一版基础上,充分吸纳读者反馈意见,对部分内容进行了调整与扩充,全书由第一版共九章扩增至共十二章,从而形成了第二版。主要变化包括:新增了第二版的第八章和第十二章;对第一版第八章进行了大量扩充,形成了第二版的第九章和第十章;第一版的第九章调整为第二版的第十一章。通过调整扩充,旨在及时、全面地总结和提炼近二十年来在黄曲霉

毒素抗体创制和检测技术方面的研究成果，为课题组明确新的研究方向，进一步深入开展黄曲霉毒素污染检测、风险预警、风险评估和全程防控研究奠定基础，也为农产品与食品生产及科研、推广、教学、管理工作提供参考。希望本书的出版有助于促进农产品质量安全及生物毒素检测与控制等相关研究，对提升农产品质量安全水平，减轻或避免黄曲霉毒素污染危害，保障农产品消费安全，促进农产品贸易起到积极作用。

作者及团队在研究过程中，长期得到中国工程院张改平院士、陈宗懋院士的悉心教育、关怀与帮助，在此表示衷心的感谢。中国工程院原副院长刘旭院士在百忙之中再次为本书欣然作序，作者谨此致以诚挚的谢忱。作者团队成员及指导的多位博士、硕士研究生参加了不同时期的研究工作，在此致以深深的谢意。本书涉及的研究成果得到多项国家自然科学基金项目（30800771、31171702、31101299、31471650、21205133）和“十五”国家科技攻关计划项目（2001BA501A16B-05）、科技部科研条件专项（JG-2002-33）、“十一五”国家“863”课题（2007AA10Z427-6）、科技部科研条件专项（2006JG003700）、“十二五”国家科技支撑计划课题（2012BAB19B09）、国家粮油作物产品质量安全风险评估重大专项和湖北省科技计划等项目的资助，科学出版社对此书的编辑出版给予了鼎力支持，一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，再版书中仍难免存在缺点和不足，恳请广大读者批评指正。

李培武 等

2018年10月

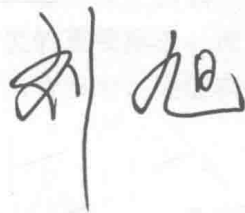
第一版序一

黄曲霉毒素是迄今发现的污染农产品的一类剧毒真菌毒素，其污染面广、致癌力强、危害重。玉米、花生、大米、牛奶、食用油等均易受到污染，严重影响这些产品的质量，威胁广大消费者的身体健康乃至生命安全，制约农业产业发展和农产品国际贸易。黄曲霉毒素是天然污染物，不同于农兽药残留，难以通过药源管理实现有效控制。因此，黄曲霉毒素高灵敏检测技术，尤其是适合现场使用的高灵敏快速检测技术，对保障农产品消费安全具有特别重要的意义。

针对我国农产品及食品生产、质量安全监管和加工流通等领域对黄曲霉毒素高灵敏检测的迫切需求，李培武研究员带领的研究团队深入农产品生产和储藏、流通及检验检测第一线，调研我国农产品黄曲霉毒素污染现状、技术需求和国内外检测技术发展动态，分析黄曲霉毒素检测与控制中存在的技术难题，并经过近二十年锲而不舍的系统研究，在黄曲霉毒素抗体创制与高灵敏检测技术研究方面取得了突破性进展，研制成功的系列检测产品和专用仪器已在我国 20 多个省（直辖市、自治区）广泛应用，部分技术产品远销海外，在国内外同行中产生了重要影响。

该著作是作者基于其团队在国内外发表的学术论文和获得的发明专利凝练编写而成，从黄曲霉毒素抗体源头创制到高灵敏检测技术方法建立，再到检测产品与仪器研发三个层次，对黄曲霉毒素现代高灵敏检测技术进行了系统阐述，是一部凝聚多项研究成果，精心编写而成的专著，学术价值大，应用前景广阔，是农产品质量安全学科发展的重要标志和宝贵结晶。该书的出版，将在保障农产品食品质量安全、促进农产品国际贸易、推进农产品质量安全科技进步等方面发挥重要作用。

中国工程院副院长、院士



2016 年 8 月于北京

第一版序二

黄曲霉毒素主要包括 B、G 和 M 族，其中 B₁ 毒性最强，为氰化钾的 10 倍、砒霜的 68 倍，致癌力为六六六的 10 000 倍，1993 年被 WHO 定义为 I 类致癌物，限量标准日趋严格，对检测技术灵敏度要求越来越高。我国地处黄曲霉毒素污染较严重区域，玉米、花生、牛奶等农产品和食用油、花生酱、米制品等食品及饲料易受黄曲霉毒素污染，威胁消费安全，制约产业发展，高灵敏检测与控制技术对保障农产品消费安全具有特别重要的意义。

在国家自然科学基金、科技攻关及支撑计划、科技部科研条件专项、“863”课题、农业部质量安全专项等项目的连续资助下，作者及其课题组历经近二十年系统研究，提出了黄曲霉毒素免疫活性位点决定抗体亲和力的靶向诱导效应学说，构建了靶向诱导效应从免疫动物到体外杂交瘤选育的高效途径，创制出黄曲霉毒素总量与 M₁、B₁、G₁ 分量高灵敏单克隆抗体、基因重组抗体和纳米抗体，创建了黄曲霉毒素高灵敏检测技术与控制标准体系，在国内外权威核心期刊发表研究论文近百篇，获得国内外发明专利三十多项，研制出黄曲霉毒素高灵敏检测系列试剂盒产品和仪器，并在转化应用中取得了显著的社会与经济效益，在国内外产生了重要影响。

为了总结黄曲霉毒素抗体创制与高灵敏检测技术研究经验，明确新的研究方向，作者将上述研究理论与技术成果系统总结，凝练成此著作。全书共九章，第一章对发展黄曲霉毒素检测技术的重要意义、现状和发展趋势进行概述，第二章和第三章分述了黄曲霉毒素靶向抗体创制的重要理论基础和实践，第四章至第八章分别总结了黄曲霉毒素的酶联免疫吸附检测技术、免疫亲和检测技术、新型免疫层析检测技术及绿色免疫检测技术，第九章介绍了黄曲霉毒素专用检测仪器研究进展与转化应用。著作观点新颖，数据翔实，图文并茂，理论与实用价值大，是农产品质量安全学科发展的重要标志。该书的出版对提升我国农产品与食品黄曲霉毒素检测水平，保障农产品消费安全，促进农业产业可持续发展都具有重要的意义。

中国工程院院士

陳金樹

2016 年 9 月于杭州

第一版前言

黄曲霉毒素是迄今发现污染农产品毒性最强的一类真菌毒素，主要包括 B 族、G 族和 M 族，其中 B₁ 毒性为氰化钾的 10 倍、砒霜的 68 倍，致癌力为六六六的 10 000 倍，1993 年被 WHO 的 IARC (International Agency for Research on Cancer, 国际癌症研究机构) 定义为 I 类致癌物，严重影响农产品消费安全，威胁人民身体健康与生命安全，制约农业产业发展和国际贸易，产品中限量标准日趋严格，对高灵敏检测技术要求越来越高。

我国地处黄曲霉毒素污染较严重区域，尤其湖北、江西、安徽等长江流域及以南地区属重污染区。花生、玉米、大米、小麦等农产品易受黄曲霉毒素污染，全国每年因霉变毒素污染造成粮油损失近 300 多亿千克，还污染牛奶、油、果、茶、酱油、醋、饮料及中药材等 100 多种农产品、食品及饲料。据统计，近十年国际贸易中由黄曲霉毒素引发的预警通报比例占 28.6%。国内外发生过多起因黄曲霉毒素污染导致的人畜群体死亡事件。例如，英国因饲料污染导致 10 万多只火鸡暴死；印度、肯尼亚等都发生过超过 100 人死亡的群体中毒事件；2010 年我国中山大学随机抽取 310 名男生检测尿液 M₁，阳性率达 29%。由于黄曲霉毒素主要是由黄曲霉 (*Aspergillus flavus*)、寄生曲霉 (*Aspergillus parasiticus*) 和集蜂曲霉 (*Aspergillus nomius*) 等在自然条件下产生的毒素，不同于农兽药残留，它无法通过药源管理实现有效控制，通过检测及时发现污染，才能避免进入食物链造成危害。因此，高灵敏检测技术对保障农产品消费安全具有特别重要的意义。

作者及课题组成员针对上述重大需求，研究探明了黄曲霉毒素分子免疫活性位点，发现了黄曲霉毒素免疫活性位点决定抗体亲和力的靶向诱导效应，建立了外源细胞因子调控的半固体培养-梯度筛选法，构建了靶向诱导效应从免疫动物传递到体外杂交瘤的高效通路；创制出系列黄曲霉毒素总量与 M₁、B₁、G₁ 分量高灵敏单克隆抗体、基因重组抗体和纳米抗体，并进而创建了黄曲霉毒素高灵敏检测技术与标准体系，研制出黄曲霉毒素高灵敏检测系列产品，包括黄曲霉毒素总量和分量检测试剂盒系列产品和专用检测仪器，实现了技术发明的产品转化与应用，在农产品、乳品、饲料等不同领域示范推广应用，获得了显著的经济效益和社会效益。

本书旨在系统总结和提炼课题组近二十年来在黄曲霉毒素抗体创制和检测技术方面的研究成果，为课题组明确新的研究方向，进一步深入开展黄曲霉毒素污染检测、风险预警、风险评估和防控研究奠定基础，也为农产品与食品生产及质量安全科研、推广、教学、管理者提供参考。希望本书的出版有助于推进农产品质量安全及生物毒素检测与控制等相关研究的发展，对提升农产品质量安全水平，减轻或避免黄曲霉毒素污染危害，保障农产品消费安全，促进农产品贸易起到积极作用。

作者在工作学习与研究过程中，长期得到中国工程院张改平院士、陈宗懋院士的悉心教育、关怀与帮助，在此表示衷心的感谢。中国工程院副院长刘旭院士在百忙之中为

本书欣然作序，作者谨此致以诚挚的谢忱。作者团队成员及指导的多位博士、硕士研究生参加了不同时期的研究工作，在此致以深深的谢意。本书涉及的研究成果得到多项国家自然科学基金项目（30800771、31171702、31101299、31471650、21205133）和“十五”国家科技攻关计划项目（2001BA501A16B-05）、科技部科研条件专项（JG-2002-33）、“十一五”国家“863”课题（2007AA10Z427-6）、科技部科研条件专项（2006JG003700）、“十二五”国家科技支撑计划课题（2012BAB19B09）、国家粮油作物产品质量安全风险评估重大专项和湖北省科技计划等项目的资助，科学出版社对此书的编辑出版给予了鼎力支持，一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不足，恳请读者批评指正。

李培武

2016年9月

目 录

第二版序一

第二版序二

第二版前言

第一版序一

第一版序二

第一版前言

第一章 总论	1
第一节 黄曲霉毒素的发现与危害	1
一、黄曲霉毒素的发现与生物合成	2
二、黄曲霉毒素产生的主要影响因素与污染分布	3
三、黄曲霉毒素的理化性质	4
四、黄曲霉毒素的毒性及危害	6
第二节 农产品黄曲霉毒素污染与食品安全	7
一、黄曲霉毒素污染与农产品食品安全事件	8
二、黄曲霉毒素限量标准	9
三、黄曲霉毒素污染对农产品生产与食品加工的影响	13
第三节 黄曲霉毒素检测技术现状	15
一、黄曲霉毒素检测技术	15
二、黄曲霉毒素各种检测技术的特点与适用范围	18
三、黄曲霉毒素检测技术发展方向	19
第四节 黄曲霉毒素免疫检测技术研究进展与发展趋势	19
一、黄曲霉毒素免疫检测技术发展历程	20
二、黄曲霉毒素主要免疫检测技术及特点	26
三、黄曲霉毒素免疫检测技术发展趋势	31
第二章 黄曲霉毒素人工抗原	34
第一节 黄曲霉毒素抗原免疫活性位点	34
一、黄曲霉毒素人工抗原与免疫活性位点的概念	34
二、黄曲霉毒素抗原免疫活性位点的发现与靶向诱导效应	37
第二节 黄曲霉毒素半抗原分子结构设计	46
一、黄曲霉毒素半抗原设计	47
二、影响黄曲霉毒素半抗原偶联的因素	49
第三节 黄曲霉毒素人工抗原合成与鉴定	51
一、黄曲霉毒素人工抗原合成方法	51

二、黄曲霉毒素人工抗原的鉴定	54
三、黄曲霉毒素与载体蛋白结合比的估算方法	56
四、黄曲霉毒素人工抗原合成实例	57
第三章 黄曲霉毒素特异性抗体	63
第一节 黄曲霉毒素特异性抗体与表征	63
一、现代抗体概念	63
二、根据靶标划分黄曲霉毒素抗体种类	64
三、根据抗体类型划分黄曲霉毒素抗体种类	65
四、黄曲霉毒素抗体特性表征	67
第二节 杂交瘤半固体培养-梯度筛选法与黄曲霉毒素单克隆抗体创制	72
一、黄曲霉毒素杂交瘤细胞半固体培养-梯度筛选法	72
二、黄曲霉毒素杂交瘤细胞株选育与单克隆抗体创制	76
三、黄曲霉毒素单克隆抗体特性表征	78
第三节 黄曲霉毒素阳性抗体噬菌体展示库和基因重组抗体创制	89
一、黄曲霉毒素阳性杂交瘤与抗体可变区基因的克隆	89
二、黄曲霉毒素阳性抗体噬菌体展示库的构建	93
三、黄曲霉毒素基因重组单链抗体的研制及表征	98
第四节 黄曲霉毒素纳米抗体创制	102
一、黄曲霉毒素纳米抗体创制方法	102
二、黄曲霉毒素特异性纳米抗体	107
三、黄曲霉毒素抗独特型纳米抗体	111
第四章 黄曲霉毒素酶联免疫吸附检测技术	115
第一节 黄曲霉毒素酶联免疫吸附检测原理	115
一、黄曲霉毒素酶联免疫吸附检测原理与分类	115
二、黄曲霉毒素酶联免疫吸附检测技术基本流程	117
三、影响黄曲霉毒素酶联免疫吸附检测的主要因素	118
四、黄曲霉毒素酶联免疫吸附检测标准曲线	120
第二节 黄曲霉毒素酶联免疫吸附检测技术及应用	121
一、黄曲霉毒素 B ₁ 酶联免疫吸附检测技术及应用	121
二、黄曲霉毒素 M ₁ 酶联免疫吸附检测技术及应用	125
三、黄曲霉毒素 G ₁ 酶联免疫吸附检测技术及应用	133
四、黄曲霉毒素总量酶联免疫吸附检测技术及应用	139
五、基于黄曲霉毒素纳米抗体的 ELISA 检测技术	141
第五章 黄曲霉毒素免疫亲和检测技术	144
第一节 黄曲霉毒素免疫亲和检测技术概述	144
一、黄曲霉毒素免疫亲和柱的制备	145
二、黄曲霉毒素免疫亲和检测技术的特点	145
三、黄曲霉毒素免疫亲和检测技术类型	146

第二节 黄曲霉毒素免疫亲和柱与样品净化技术	147
一、免疫亲和柱的研制	147
二、免疫亲和柱样品净化技术及其性能比较	154
三、免疫亲和柱在黄曲霉毒素检测中的应用	155
第三节 黄曲霉毒素免疫亲和-荧光检测技术与应用	156
一、黄曲霉毒素免疫亲和-荧光检测技术原理	156
二、黄曲霉毒素免疫亲和-荧光检测技术流程	158
三、 HgCl_2 荧光增强黄曲霉毒素免疫亲和-荧光检测技术	159
四、IAC-HPLC-Hg (II) 柱后衍生黄曲霉毒素检测技术应用	168
五、环糊精荧光增强黄曲霉毒素免疫亲和-荧光检测技术	171
第四节 黄曲霉毒素免疫亲和-毛细管电泳检测技术与应用	175
一、黄曲霉毒素免疫亲和-毛细管电泳检测原理与分离模式	175
二、黄曲霉毒素免疫亲和-毛细管电泳检测技术	176
三、IAC-LIF-HPCE 黄曲霉毒素检测技术应用	182
第五节 黄曲霉毒素免疫亲和-高效液相色谱检测技术与应用	184
一、免疫亲和-高效液相色谱检测技术原理	184
二、免疫亲和样品前处理技术	184
三、黄曲霉毒素荧光增强剂及特性	186
四、高效液相色谱条件优化	187
五、免疫亲和-高效液相色谱检测技术评价及应用	189
第六节 黄曲霉毒素免疫亲和-色谱联用检测技术与应用	189
一、免疫亲和-色谱联用检测技术原理	189
二、免疫亲和样品前处理技术	190
三、高效液相色谱条件	192
四、质谱条件	193
五、黄曲霉毒素免疫亲和-色谱质谱联用检测方法评价	200
第六章 黄曲霉毒素纳米金免疫层析检测技术	202
第一节 黄曲霉毒素纳米金免疫层析检测原理	202
一、概述	202
二、黄曲霉毒素纳米金免疫探针	203
三、黄曲霉毒素纳米金免疫层析检测原理	204
第二节 黄曲霉毒素 B_1 纳米金免疫检测技术	205
一、黄曲霉毒素 B_1 纳米金免疫探针的制备	205
二、黄曲霉毒素 B_1 纳米金试纸条的制备	210
三、黄曲霉毒素 B_1 纳米金免疫检测技术的建立	214
四、纳米金制备技术及颗粒大小对免疫层析效果的影响	219
五、黄曲霉毒素 B_1 纳米金免疫检测试纸条应用及与 HPLC 法测定结果比较	220
第三节 黄曲霉毒素 M_1 纳米金免疫检测技术	223

一、黄曲霉毒素 M ₁ 纳米金免疫探针的制备	223
二、黄曲霉毒素 M ₁ 纳米金试纸条的制备	226
三、黄曲霉毒素 M ₁ 纳米金免疫检测技术的建立	227
四、黄曲霉毒素 M ₁ 纳米金免疫检测技术应用	231
第四节 黄曲霉毒素总量纳米金免疫检测技术	232
一、黄曲霉毒素总量纳米金免疫探针的制备	232
二、黄曲霉毒素总量纳米金试纸条的制备	235
三、黄曲霉毒素总量纳米金免疫检测技术的建立	236
四、黄曲霉毒素总量纳米金免疫检测技术应用	240
第五节 黄曲霉毒素多检测线半定量纳米金免疫检测技术	243
一、黄曲霉毒素多检测线半定量纳米金试纸条模型	243
二、黄曲霉毒素多检测线半定量纳米金免疫检测技术的建立	244
三、黄曲霉毒素多检测线半定量纳米金免疫检测技术应用	248
第六节 多种真菌毒素纳米金同步检测技术	248
一、多种真菌毒素纳米金免疫探针制备	248
二、多种真菌毒素纳米金试纸条制备	250
三、多种真菌毒素纳米金免疫检测技术的建立	251
四、多种真菌毒素纳米金免疫检测技术应用	254
第七章 黄曲霉毒素时间分辨荧光免疫层析检测技术	256
第一节 黄曲霉毒素钨标记时间分辨荧光免疫层析检测技术原理	256
一、概述	256
二、黄曲霉毒素时间分辨荧光探针的构建	257
三、黄曲霉毒素时间分辨荧光免疫层析检测技术原理	259
第二节 黄曲霉毒素 B ₁ 钨标记时间分辨荧光免疫层析技术	260
一、黄曲霉毒素 B ₁ 钨标记时间分辨荧光试纸条的制备	260
二、黄曲霉毒素 B ₁ 时间分辨荧光免疫层析检测技术的建立	261
三、黄曲霉毒素 B ₁ 钨标记时间分辨荧光免疫层析检测技术应用	271
第三节 黄曲霉毒素 M ₁ 钨标记免疫层析检测技术	273
一、黄曲霉毒素 M ₁ 钨标记试纸条的制备	273
二、黄曲霉毒素 M ₁ 钨标记免疫层析检测技术的建立	274
三、黄曲霉毒素 M ₁ 钨标记免疫层析检测技术应用	283
第四节 黄曲霉毒素总量钨标记时间分辨荧光免疫层析检测技术	284
一、黄曲霉毒素总量钨标记试纸条的制备	284
二、黄曲霉毒素总量时间分辨荧光免疫层析检测技术的建立	285
三、黄曲霉毒素总量时间分辨荧光免疫层析检测技术评价	286
四、黄曲霉毒素总量钨标记时间分辨荧光检测技术的应用	289

第八章 黄曲霉毒素新型标记探针免疫检测技术	292
第一节 黄曲霉毒素量子点标记免疫检测技术	292
一、黄曲霉毒素量子点合成技术	292
二、黄曲霉毒素量子点标记微孔板检测技术	294
三、黄曲霉毒素量子点微球试纸条检测技术	296
第二节 黄曲霉毒素石墨烯标记免疫检测技术	299
一、黄曲霉毒素石墨烯免疫探针研制	300
二、黄曲霉毒素石墨烯标记侧向流免疫层析技术	304
三、黄曲霉毒素石墨烯标记免疫检测技术实际应用	308
第三节 黄曲霉毒素纳米钯标记适配体模拟抗体免疫检测技术	309
一、黄曲霉毒素纳米钯标记适配体模拟抗体免疫检测原理	310
二、黄曲霉毒素纳米钯标记适配体模拟抗体检测技术的建立	311
三、黄曲霉毒素纳米钯标记适配体模拟抗体检测技术的应用	313
第四节 黄曲霉毒素丝网刷微阵列标记免疫芯片检测技术	315
一、黄曲霉毒素等真菌毒素混合污染免疫芯片同步检测技术	315
二、微阵列免疫芯片在花生样品真菌毒素检测中的应用	319
第九章 黄曲霉毒素非标免疫检测技术	321
第一节 黄曲霉毒素非标免疫检测技术原理	321
一、概述	322
二、黄曲霉毒素非标免疫检测原理	322
三、黄曲霉毒素非标免疫检测技术主要类型与特点	325
第二节 黄曲霉毒素非标免疫荧光猝灭检测技术	327
一、黄曲霉毒素免疫荧光猝灭现象的发现	328
二、黄曲霉毒素免疫荧光猝灭检测技术的建立	329
三、黄曲霉毒素免疫荧光猝灭检测技术的应用	333
第三节 黄曲霉毒素纳米抗体噬菌体无标记免疫 PCR 检测技术	333
一、黄曲霉毒素纳米抗体噬菌体无标记免疫 PCR 技术组成	334
二、无标记免疫荧光定量 PCR 黄曲霉毒素检测方法的建立	335
三、黄曲霉毒素纳米抗体噬菌体无标记免疫 PCR 检测技术的应用	343
第十章 黄曲霉毒素无毒替代物免疫检测技术	345
第一节 黄曲霉毒素替代抗原免疫检测原理	345
一、黄曲霉毒素替代抗原的种类	345
二、黄曲霉毒素无毒替代物在免疫检测技术中的作用	347
三、黄曲霉毒素无毒替代物免疫检测原理	348
第二节 黄曲霉毒素无毒替代物制备技术	350
一、噬菌体展示肽无毒替代物的制备技术	350
二、抗独特型双链抗体无毒替代物的制备技术	351