

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240325003

新收获玉米不同霉斑颜色生霉粒与真菌毒素污染情况及优势菌研究

纪立波¹, 赵东霞¹, 顾雨熹², 陈 帅³, 唐 芳⁴, 刘 洋¹, 郭 亮¹,
谭 林¹, 曲圣极¹, 陈晋莹^{2*}

(1. 中储粮辽宁质检中心有限公司, 沈阳 110031; 2. 中储粮成都储藏研究院有限公司, 成都 610037;
3. 中储粮质检中心有限公司, 北京 100000; 4. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100000)

摘 要: **目的** 探究新收获玉米不同霉斑颜色生霉粒与真菌毒素污染情况及优势菌。**方法** 收集了辽宁不同地区的新收获玉米样本, 采用微生物学培养、形态学观察、分子生物学鉴定等方法确定不同霉斑颜色籽粒的带菌情况, 并探讨霉斑颜色与 3 种真菌污染情况、特定真菌种群之间的关系。**结果** 霉斑颜色与特定的真菌种群存在一定的关联性, 红色、白色、黑色霉斑和脐深可能表明木霉属、镰孢菌属的存在, 绿色霉斑可能表明木霉属、蓝状菌属的存在。此外, 真菌毒素检测结果表明红色、白色、黑色霉斑和脐深可能表明样品中存在玉米赤霉烯酮、脱氧雪腐镰刀菌烯醇的感染风险, 绿色霉斑可能表明存在脱氧雪腐镰刀菌烯醇的感染风险。**结论** 本研究提出的感官检验辅助图谱可作为快速筛选工具, 初步评估玉米籽粒潜在的食品安全隐患。但因为霉斑颜色可能涉及多种真菌情况较为复杂, 还需不断优化完善为玉米的食品安全管理提供更为科学、有效的技术支持。

关键词: 玉米; 霉斑颜色; 真菌毒素; 优势菌

Study on the correlation between moldy spot color of newly harvested corn and mycotoxin pollution and dominant bacteria

Ji Li-Bo¹, Zhao Dong-Xia¹, Gu Yu-Xi², Chen Shuai³, Tang Fang⁴, Liu Yang¹,
Guo Liang¹, Tan Lin¹, Qu Sheng-Ji¹, Chen Jin-Ying^{2*}

(1. Sinograin Liaoning Quality Inspection and Supervision Co., Ltd., Shenyang 110031, China; 2. Sinograin Chengdu Storage Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610037, China; 3. Sinograin Quality Inspection and Supervision Co., Ltd., Beijing 100000, China; 4. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100000, China)

ABSTRACT: Objective To explore the contamination of moldy grains and mycotoxins in different moldy spots of newly harvested corn and the dominant bacteria. **Methods** Newly harvested maize samples from different regions of Liaoning Province were collected. Microbiological culture, morphological observation, molecular biological identification and other methods were used to determine the carrying status of grains with different mold spot colors,

基金项目: 四川省科技厅 2023 年青年科技人才项目“天府青城计划”(2024-1#)

Fund: Supported by the “Tianfu Qingcheng Plan” for the 2023 Youth Science and Technology Talent Project of the Sichuan Provincial Department of Science and Technology (2024-1#)

*通信作者: 陈晋莹, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: chen2331738@yeah.net

*Corresponding author: CHEN Jin-Ying, Ph.D, Associate Professor, Sinograin Chengdu Storage Research Institute Co., Ltd., Building 32, No.239 Guangfu Road, Qingyang District, Chengdu 610037, China. E-mail: chen2331738@yeah.net

and to explore the relationship between mold spot color and 3 kinds of fungal contamination and specific fungal populations. **Results** There was a certain correlation between the color of mold spots and specific fungal populations. Red, white, black mold spots and navel depth may indicate the presence of *Trichoderma* and *Fusarium*, and green mold spots may indicate the presence of *Trichoderma* and *Cyanobacteria*. In addition, the results of mycotoxin detection showed that red, white, black moldy spots and umbilical depth may indicate the risk of infection of zearalenone and deoxynivalenol in the samples, and green moldy spots may indicate the risk of infection of deoxynivalenol. **Conclusion** The sensory test auxiliary map proposed in this study can be used as a rapid screening tool to preliminarily evaluate the potential food safety hazards of corn kernels. However, because the color of mold spots may involve a variety of fungi, it is necessary to continuously optimize and improve the food safety management of corn to provide more scientific and effective technical support.

KEY WORDS: corn; mold spot color; mycotoxins; dominant bacteria

0 引言

粮食安全是“国之大者”，是国家安全的重要基础。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视国家粮食安全，始终把解决好十几亿人口的吃饭问题，作为治国理政的头等大事，加快推进农业农村现代化，实施国家粮食安全战略，坚持藏粮于地、藏粮于技。当前，随着国家对粮食安全重视程度的加深，玉米作为我国重要的粮食作物和饲料作物，在保障粮食安全方面具有重要战略地位，对国民、经济健康稳定也具有重要影响。国家统计局数据指出，21 世纪以来，我国玉米种植面积连续增长，2012 年超过水稻，达到 3503 万公顷，成为我国播种面积最大的农作物，到 2022 年我国玉米种植面积达 4307 万公顷，总产量达到 2.77 亿吨。因此，玉米的安全生产和可持续发展直接影响我国的粮食安全^[1-2]。但随着玉米种植面积和复种指数的增加，以及全球气候变暖，由镰刀菌、曲霉菌等病原真菌引起的玉米生霉和霉变的发生频次和危害程度逐年加剧，玉米生霉粒和霉变粒的发生不仅造成玉米减产、籽粒品质降低，带来巨大的经济损失，且这些病原真菌在适宜温度、湿度条件下还会产生大量真菌毒素，直接影响到玉米储藏加工的质量和安全，严重威胁人类及动物的健康^[3-4]。因此，在保证粮食安全过程中，对玉米收储时生霉粒、霉变粒和真菌毒素含量的监测至关重要。

辽宁省作为我国粮食主产区之一，独特的地理优势和适宜的气候条件适合多种农作物生长，其中玉米产量占比较大，占辽宁省储备粮比例 75% 以上^[5]。然而，2020 年和 2021 年连续两年，辽宁地产玉米真菌毒素超标严重，给中央储备粮轮换收购带来困扰，为了收购合格玉米，直属企业收购玉米采取车车必检真菌毒素，部分真菌毒素污染严重地区最高退车率达到 65%，大大增加了监测人力和检测费用。真菌感染会导致玉米发生霉变、产生真菌毒素，通过近年来的质量调查数据分析，真菌毒素与玉米生霉粒、霉变粒含量存在一定的关系，而多项研究结果又表明玉米

生霉粒、霉变粒含量的高低与真菌毒素含量多少没有明显正相关性^[6-7]。

为进一步探究新收获玉米霉变粒与真菌毒素污染相关性，本研究对辽宁辖区新收获玉米样品中生霉粒样品进行采集并根据霉斑颜色对生霉粒进行分类，通过对其常见真菌毒素检测、优势真菌分离与鉴定分析，以确定辽宁地区玉米霉变粒霉斑颜色与真菌毒素和优势菌对应关系，以感官图谱的形式为辽宁地区玉米收购提供科学依据和数据支撑，严防不合格粮收购入库，保障粮食安全的前提下降低检测成本。

1 材料与方法

1.1 样品

组成 8 个新粮质量调查组，深入辽宁辖区 14 个市，44 个县田间、农户进行调查，共收集 2021 年新收获玉米样品 141 份，选取其中带有霉斑的 66 份样品用于项目研究。

1.2 主要仪器与试剂

PL3002IC 电子天平(精度 0.01 g, 中国梅特勒-托利多仪器有限公司); FSJ-III 型锤片式粮食试验粉碎机(中储粮成都储藏研究院有限公司); MLS-3781L-PC 高压蒸汽灭菌器(日本 Panasonic 公司); HERAsafe KS12 生物安全柜(美国赛默飞世尔科技公司); BMJ-250C 霉菌培养箱(上海博迅医疗生物仪器股份有限公司); Axio scope A1 科研级生物显微镜(德国 Zeiss 公司); 1000 微升移液枪(德国 EPPENDORF 公司)。

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(分析纯, 北京陆桥技术股份有限公司); 氯霉素(分析纯, 上海索莱宝生物科技有限公司); 无水乙醇、75%乙醇(分析纯, 北京化工厂)。

1.3 实验方法

1.3.1 生霉粒样品的挑选

按照 GB/T 5494—2019《粮油检验粮食、油料的杂质、

不完善粒检验》中的规定执行。

1.3.2 附生真菌的分离和纯化

 附生真菌的分离按照 GB 4789.15—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验霉菌和酵母计数》规定的方法执行。挑取单菌落边缘菌丝转接 3~4 次, 纯化不同编号真菌获得纯种菌株。

1.3.3 内生真菌的分离和纯化

 内生真菌的分离主要采取平板种植法。将上述实验洗脱附生真菌菌群的样品, 倒去洗脱液, 加入 20 mL 50%酒精, 振荡洗涤约 30 s, 倾去酒精后, 用 50 mL 1%次氯酸钠振荡消毒 1 min。用无菌水冲洗 3 次后平铺在马铃薯葡萄糖琼脂培养基(potato dextrose agar medium, PDA)平板上。将接种后的平板放在 28℃±1℃的恒温培养箱中培养, 3 d 后开始观察, 记录未长菌落的籽粒数, 4 d 后开始照相, 5 d 后将不同特征的菌落进行标号。挑取单菌落边缘菌丝转接 3~4 次, 纯化不同编号的真菌菌株获得纯种菌株。

1.3.4 真菌的形态特征鉴定

 真菌菌落的表观形态特征鉴定主要采取三点接种法, 根据培养性状、孢子及菌丝体的显微观察、生长速率等几个方面, 并结合相应的真菌鉴定手册进行鉴定^[8-9]。真菌接种在培养基上后通常置于(28±1)℃恒温培养箱中培养 7 d 后, 观察菌落特征并拍照与实验室图谱进行比对。

 真菌的微观形态特征鉴定采用斜插盖玻片培养方法, 使菌丝沿着盖玻片一侧往上生长, 培养 5 d 后取出沾有菌丝的盖玻片, 然后在载玻片上滴加一小滴乳酸苯酚固定液(由 10 g 结晶苯酚、10 g 乳酸、20 g 甘油和 10 mL 蒸馏水配制而成), 再将沾有菌丝的盖玻片盖在乳酸苯酚固定液上, 制成临时玻片标本在显微镜下观察并拍照和测量与实验室图谱进行比对, 初步确定真菌种类。

1.3.5 真菌的分子生物学鉴定

 采用十六烷基三甲基溴化铵(cetyltrimethylammonium bromide, CTAB)法对培养完成的菌株进行 DNA 的提取^[10-12], 使用引物 ITS1(5'-TCCGTAGGTGAACCTGGGG-3') 和 ITS4(5'-TCCTCCGCTTATTGATATG-3')进行 ITS 的 PCR 扩增后经生工生物工程(上海)有限公司进行测序, 利用 NCBI (National Center for Biotechnology Information)网站与 BLAST (Basic Local Alignment Search Tool)与 Gene Bank 数据库中已知序列进行对比, 确定真菌的种类。

1.3.6 真菌毒素的检测

 选择玉米中 3 种常见的真菌毒素, 玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)、黄曲霉毒素 B₁ (aflatoxin B₁, AFB₁)的检验方法按照 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素》规定的检验方法进行。

1.4 数据处理

 运用 Excel 软件(版本 2404 Build 16.0.17531.20140,

Microsoft 公司)对数据进行统计和处理。

2 结果与分析

2.1 生霉粒样品的分类

 筛选后的玉米生霉粒样品共计 66 个, 根据霉斑颜色将其分为红色、白色、绿色、脐深以及黑色, 其中红色生霉粒样品 16 个, 白色生霉粒样品 23 个, 绿色生霉粒样品 21 个, 脐深样品 4 个, 黑色生霉粒样品 2 个。详细信息见表 1。

表 1 生霉粒样品信息
Table 1 Sample information of mould granules

霉斑 颜色	样品 编号	样品 名称	霉斑 颜色	样品 编号	样品 名称
红色	1	55 红	白色	34	126 白黑
	2	58 红		35	129 白
	3	59 红		36	130 白
	4	69 红		37	133 白
	5	76 红		38	136 白
	6	79 红		39	137 白
	7	81 红		40	1 绿
	8	83 红		41	10 绿
	9	84 红		42	49 绿
	10	85 红		43	50 绿
	11	86 红		44	53 绿
	12	90 红		45	55 绿
	13	104 红		46	58 绿
	14	105 红		47	59 绿
	15	127 红		48	69 绿
	16	139 红		49	76 绿轻
白色	17	49 白	绿色	50	76 绿重
	18	54 白		51	80 绿
	19	55 白		52	83 绿
	20	58 白		53	90 绿
	21	59 白		54	103 绿
	22	69 白		55	105 绿
	23	71 白		56	109 绿
	24	76 白		57	132 绿
	25	80 白		58	135 绿
	26	83 白		59	138 绿
	27	85 白		60	140 绿
	28	88 白		61	71 脐深
	29	89 白	脐深	62	76 脐深
	30	90 白		63	89 脐深
	31	104 白		64	90 脐深
	32	106 白	黑色	65	126 黑
	33	126 白		66	131 黑

2.2 优势菌鉴定结果

通过微生物培养、形态学观察、分子生物学鉴定及高通量测序分析等技术手段, 确定了不同霉斑颜色样品附生菌和内生菌带菌情况, 结果如表 2~5 所示。

从结果可以看出红色霉斑常见附生菌为木霉属、镰孢菌属, 少数可见草酸青霉、蓝状菌属、帚枝霉属, 内生真菌常受到木霉属、镰孢菌属的感染, 偶见蓝状菌属。

白色霉斑优势附生真菌主要属于木霉属、镰孢菌属,

少数可见黄曲霉、蓝状菌属、毛霉属、黑曲霉、草酸青霉、烟曲霉。内生真菌常受到木霉属、镰孢菌属的感染, 偶见蓝状菌属、毛霉属。

绿色霉斑优势附生真菌主要属于木霉属、蓝状菌属, 偶见镰孢菌属、黄曲霉、黑曲霉。绿色霉斑内生菌主要是木霉属, 此外还有少量的蓝状菌属、链格孢属、附球菌属。

脐深和黑色霉斑主要优势菌是木霉属、镰孢菌属。

表 2 真菌物种鉴定名录及菌落计数(红)
Table 2 Identification list of fungal species and colony count (red)

附生真菌名称	精确鉴定的属、系及种	检出频次	内生菌名称	精确鉴定的属、系及种	检出频次
棘孢木霉/类棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i> / <i>Trichoderma asperelloides</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	6	非洲哈茨木霉/哈茨木霉(<i>Trichoderma afroharzianum</i> / <i>Trichoderma harzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	4
绿色木霉(<i>Trichoderma viride</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	3	棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2
(未知)(<i>Trichoderma lixii</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	3	哈茨木霉/深褐木霉(<i>Trichoderma harzianum</i> / <i>Trichoderma atrobrunneum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2
哈茨木霉(<i>Trichoderma harzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2	类棘孢木霉/棘孢木霉(<i>Trichoderma asperelloides</i> / <i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
绿色木霉/棘孢木霉(<i>Trichoderma viride</i> / <i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1	禾谷镰孢/亚洲镰孢(<i>Fusarium graminearum</i> / <i>Fusarium asiaticum</i>)	禾谷镰孢复合系群(<i>Fusarium graminearum</i> species complex)	4
非洲哈茨木霉/哈茨木霉(<i>Trichoderma afroharzianum</i> / <i>Trichoderma harzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1	胶孢镰孢/串珠镰孢(<i>Fusarium subglutinans</i> / <i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	2
棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1	串珠镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1
串珠镰孢/胶孢镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i> / <i>Fusarium subglutinans</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	3	疣孢篮状菌/绳状篮状菌(<i>Talaromyces funiculosus</i> / <i>Talaromyces verruculosus</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	1
串珠镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1			
层出镰孢/串珠镰孢(<i>Fusarium proliferatum</i> / <i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1			
禾谷镰孢(<i>Fusarium graminearum</i>)	禾谷镰孢复合系群(<i>Fusarium graminearum</i> species complex)	1			
草酸青霉(<i>Penicillium oxalicum</i>)	草酸青霉(<i>Penicillium oxalicum</i>)	4			
绳状篮状菌(<i>Talaromyces funiculosus</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	3			
疣孢篮状菌(<i>Talaromyces verruculosus</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	1			
紧密帚枝霉/(未知)(<i>Sarocladium strictum</i> / <i>Sarocladiumzeae</i>)	帚枝霉属(<i>Sarocladium</i>)	1			
(未知)(<i>Sarocladiumzeae</i>)	帚枝霉属(<i>Sarocladium</i>)	1			

表 3 真菌物种鉴定名录及菌落计数(白)
Table 3 Identification list of fungal species and colony count (white)

附生菌名称	精确鉴定的属、 系及种	检出 频次	内生菌名称	精确鉴定的属、 系及种	检出 频次
棘孢木霉/类棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i> / <i>Trichoderma asperelloides</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	9	禾谷镰孢/亚洲镰孢(<i>Fusarium graminearum</i> / <i>Fusarium asiaticum</i>)	禾谷镰孢复合系群(<i>Fusarium graminearum</i> species complex)	6
哈茨木霉(<i>Trichoderma harzianum</i> / <i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	4	胶孢镰孢/串珠镰孢(<i>Fusarium subglutinans</i> / <i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	3
绿色木霉(<i>Trichoderma viride</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2	串珠镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	2
非洲哈茨木霉(<i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2	层出镰孢/藤仓镰孢(<i>Fusarium proliferatum</i> / <i>Fusarium fujikuroi</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	2
类棘孢木霉(<i>Trichoderma asperelloides</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2	串珠镰孢/层出镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i> / <i>Fusarium proliferatum</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1
(未知)(<i>Trichoderma lixii</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1	层出镰孢(<i>Fusarium proliferatum</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1
串珠镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	10	类棘孢木霉/棘孢木霉(<i>Trichoderma asperelloides</i> / <i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	3
串珠镰孢/胶孢镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i> / <i>Fusarium subglutinans</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	3	非洲哈茨木霉/哈茨木霉(<i>Trichoderma afroharzianum</i> / <i>Trichoderma harzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2
层出镰孢/藤仓镰孢(<i>Fusarium proliferatum</i> / <i>Fusarium fujikuroi</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	2	棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2
黄曲霉(<i>Aspergillus flavus</i>)	黄曲霉(<i>Aspergillus flavus</i>)	3	(未知)/非洲哈茨木霉(<i>Trichoderma lixii</i> / <i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
绳状篮状菌(<i>Talaromyces funiculosus</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	2	哈茨木霉/深褐木霉(<i>Trichoderma harzianum</i> / <i>Trichoderma atrobrunneum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
(未知)(<i>Mucor lusitanicus</i>)	毛霉属(<i>Mucor</i>)	1	棘孢木霉/绿色木霉(<i>Trichoderma asperellum</i> / <i>Trichoderma viride</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1	类棘孢木霉(<i>Trichoderma asperelloides</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
黑曲霉(<i>Aspergillus niger</i>)	黑曲霉(<i>Aspergillus niger</i>)	1	非洲哈茨木霉(<i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
草酸青霉(<i>Penicillium oxalicum</i>)	草酸青霉(<i>Penicillium oxalicum</i>)	1	疣孢篮状菌/绳状篮状菌(<i>Talaromyces funiculosus</i> / <i>Talaromyces verruculosus</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	1
烟曲霉(<i>Aspergillus fumigatus</i>)	烟曲霉(<i>Aspergillus fumigatus</i>)	1	(未知)(<i>Mucor lusitanicus</i>)	毛霉属(<i>Mucor</i>)	1
			草酸青霉(<i>Penicillium oxalicum</i>)	草酸青霉(<i>Penicillium oxalicum</i>)	1

表 4 真菌物种鉴定名录及菌落计数(绿)
Table 4 Identification list of fungal species and colony count (green)

附生菌名称	精确鉴定的属、系及种	检出频次	内生菌名称	精确鉴定的属、系及种	检出频次
哈茨木霉(<i>Trichoderma harzianum</i> / <i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	9	非洲哈茨木霉/哈茨木霉(<i>Trichoderma afroharzianum</i> / <i>Trichoderma harzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	5
非洲哈茨木霉(<i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	6	非洲哈茨木霉(<i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2
棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	4	哈茨木霉(<i>Trichoderma harzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2
类棘孢木霉(<i>Trichoderma asperelloides</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	3	棘孢木霉/绿色木霉(<i>Trichoderma asperellum</i> / <i>Trichoderma viride</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2
哈茨木霉/非洲哈茨木霉(<i>Trichoderma harzianum</i> / <i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2	(未知)/非洲哈茨木霉(<i>Trichoderma lixii</i> / <i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
棘孢木霉/类棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i> / <i>Trichoderma asperelloides</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2	类棘孢木霉(<i>Trichoderma asperelloides</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
拟康宁木霉(<i>Trichoderma koningiopsis</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1	类棘孢木霉/棘孢木霉(<i>Trichoderma asperelloides</i> / <i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
(未知)(<i>Trichoderma lixii</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1	哈茨木霉/深褐木霉(<i>Trichoderma harzianum</i> / <i>Trichoderma atrobrunneum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
黄曲霉(<i>Aspergillus flavus</i>)	黄曲霉(<i>Aspergillus flavus</i>)	2	绿色木霉(<i>Trichoderma viride</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
斯托尔篮状菌(<i>Talaromyces stollii</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	1	棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
疣孢篮状菌(<i>Talaromyces verruculosus</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	1	哈茨木霉/深绿木霉(<i>Trichoderma harzianum</i> / <i>Trichoderma aureoviride</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
串珠镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1	哈茨木霉/非洲哈茨木霉(<i>Trichoderma harzianum</i> / <i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
(未知)(<i>Talaromyces amestolkiae</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	1	斯托尔篮状菌(<i>Talaromyces stollii</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	2
绳状篮状菌/(未知)(<i>Talaromyces funiculosus</i> / <i>Talaromyces purpureogenus</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	1	串珠镰孢/胶孢镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i> / <i>Fusarium subglutinans</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1
疣孢篮状菌/绳状篮状菌(<i>Talaromyces verruculosus</i> / <i>Talaromyces funiculosus</i>)	蓝状菌属(<i>Talaromyces</i>)	1	黑色附球菌(<i>Epicoccum nigrum</i>)	附球菌属(<i>Epicoccum</i>)	1
黑曲霉(<i>Aspergillus niger</i>)	黑曲霉(<i>Aspergillus niger</i>)	1	细极链格孢(<i>Alternaria tenuissima</i>)	链格孢属(<i>Alternaria</i>)	1
			(未知)(<i>Epicoccum tritici</i>)	附球菌属(<i>Epicoccum</i>)	1

表 5 真菌物种鉴定名录及菌落计数(脐深和黑)
Table 5 Identification list of fungal species and colony count (navel deep and black)

附生菌名称	精确鉴定的属、系及种	检出频次	内生菌名称	精确鉴定的属、系及种	检出频次
棘孢木霉/类棘孢木霉(<i>Trichoderma asperellum</i> / <i>Trichoderma asperelloides</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	4	非洲哈茨木霉(<i>Trichoderma afroharzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	2
哈茨木霉(<i>Trichoderma harzianum</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1	棘孢木霉/绿色木霉(<i>Trichoderma asperellum</i> / <i>Trichoderma viride</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
串珠镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	2	类棘孢木霉(<i>Trichoderma asperelloides</i>)	木霉属(<i>Trichoderma</i>)	1
胶孢镰孢/串珠镰孢(<i>Fusarium subglutinans</i> / <i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1	胶孢镰孢/串珠镰孢(<i>Fusarium subglutinans</i> / <i>Fusarium verticillioides</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1
			串珠镰孢/层出镰孢(<i>Fusarium verticillioides</i> / <i>Fusarium proliferatum</i>)	藤仓镰孢复合系群(<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex)	1

2.3 真菌毒素检测结果

使用国标方法对黄曲霉毒素 B₁、玉米赤霉烯酮、脱氧雪腐镰刀菌烯醇 3 种真菌毒素进行检测, 确定了不同霉斑颜色样品中 3 种真菌毒素的含量, 结果如表 6~9 所示。

表 6 真菌毒素检测结果(红)
Table 6 Mycotoxin test results (red)

样品 编号	黄曲霉毒素 B ₁ /(μg/kg)	玉米赤霉烯 酮/(μg/kg)	脱氧雪腐镰刀 菌烯醇/(μg/kg)
55 红	未检出	665	5.5×10 ³
58 红	未检出	8.1×10 ³	1.09×10 ⁴
59 红	未检出	未检出	9.8×10 ³
69 红	未检出	521	7×10 ³
76 红	未检出	1.40×10 ³	3.37×10 ⁴
79 红	未检出	未检出	1.29×10 ⁴
81 红	未检出	439	3.3×10 ³
83 红	未检出	未检出	1.5×10 ³
84 红	未检出	6.09×10 ³	1.26×10 ⁴
85 红	未检出	2.00×10 ⁴	1.71×10 ⁴
86 红	未检出	6.33×10 ³	7.3×10 ³
90 红	未检出	726	8.5×10 ³
104 红	未检出	6.44×10 ³	5.5×10 ³
105 红	未检出	3.11×10 ³	9.1×10 ³
127 红	未检出	4.19×10 ³	3.6×10 ³
139 红	未检出	3.72×10 ³	3.5×10 ³

表 7 真菌毒素检测结果(白)
Table 7 Mycotoxin test results (white)

样品编号	黄曲霉毒素 B ₁ /(μg/kg)	玉米赤霉烯酮 /(μg/kg)	脱氧雪腐镰刀菌烯醇 /(μg/kg)
49 白	未检出	78.5	1.25×10 ⁴
54 白	未检出	267	4.6×10 ³
55 白	未检出	898	3.9×10 ³
58 白	未检出	1.50×10 ³	4.3×10 ³
59 白	未检出	未检出	1.92×10 ⁴
69 白	未检出	1.72×10 ³	2.9×10 ³
71 白	未检出	56.8	2.7×10 ³
76 白	未检出	2.04×10 ⁴	3.02×10 ⁴
80 白	未检出	1.96×10 ³	4.8×10 ³
83 白	未检出	2.61×10 ³	5.6×10 ⁴
85 白	未检出	1.67×10 ³	2.4×10 ³
88 白	未检出	1.74×10 ³	6.3×10 ³
89 白	未检出	411	7.6×10 ³
90 白	未检出	4.58×10 ³	5.3×10 ³
104 白	未检出	8.29×10 ³	2.1×10 ³
106 白	未检出	1.44×10 ⁴	9.1×10 ³
126 白	未检出	未检出	1×10 ³
126 白黑	未检出	224	1.3×10 ³
129 白	未检出	195	3.1×10 ³
130 白	未检出	未检出	3.1×10 ³
133 白	未检出	未检出	1.1×10 ³
136 白	未检出	未检出	4.8×10 ³
137 白	未检出	245	1.4×10 ³

表 8 真菌毒素检测结果(绿)
Table 8 Mycotoxin test results (green)

样品 编号	黄曲霉毒素 B ₁ /(μg/kg)	玉米赤霉烯 酮/(μg/kg)	脱氧雪腐镰刀菌 烯醇/(μg/kg)
01 绿	未检出	未检出	1.2×10 ³
10 绿	未检出	未检出	1.6×10 ³
49 绿	未检出	1.26×10 ³	3.2×10 ³
50 绿	未检出	未检出	2.2×10 ³
53 绿	未检出	未检出	3×10 ³
55 绿	未检出	未检出	1×10 ³
58 绿	未检出	未检出	1.1×10 ³
59 绿	未检出	未检出	1.1×10 ³
69 绿	未检出	29.0	2.1×10 ³
76 绿 (轻)	未检出	未检出	7.8×10 ³
76 绿 (重)	未检出	未检出	1.7×10 ³
80 绿	未检出	55.1	1.3×10 ³
83 绿	未检出	136.9	1.4×10 ³
90 绿	未检出	未检出	0.4×10 ³
103 绿	未检出	132	6×10 ³
105 绿	未检出	未检出	1.1×10 ³
109 绿	未检出	未检出	700
132 绿	未检出	未检出	1.8×10 ³
135 绿	未检出	未检出	1.8×10 ³
138 绿	未检出	未检出	100
140 绿	未检出	未检出	500

表 9 真菌毒素检测结果(脐深和黑)
Table 9 Mycotoxin test results (navel deep and black)

样品 编号	黄曲霉毒素 B ₁ /(μg/kg)	玉米赤霉烯 酮/(μg/kg)	脱氧雪腐镰刀菌 烯醇/(μg/kg)
71 脐深	未检出	未检出	1.2×10 ³
76 脐深	未检出	72.5	3.2×10 ³
89 脐深	未检出	未检出	7×10 ³
90 脐深	未检出	7.67×10 ³	8.9×10 ³
126 黑	未检出	33.2	1.8×10 ³
131 黑	未检出	3.44×10 ³	1×10 ³

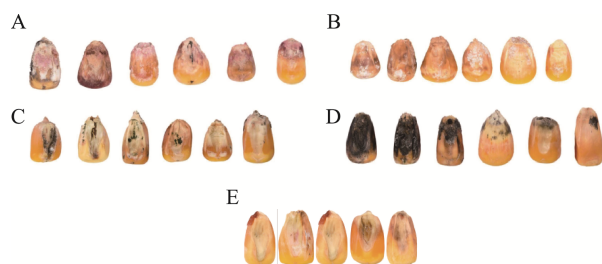
从真菌毒素检测结果可以看出 16 个红色霉斑的样品都能检测出脱氧雪腐镰刀菌烯醇, 13 个能检测出玉米赤霉烯酮, 但均未检测出黄曲霉毒素 B₁。23 个白色霉斑的样品都能检测出脱氧雪腐镰刀菌烯醇, 18 个能检测出玉米赤霉烯酮, 但均未检测出黄曲霉毒素 B₁。21 个绿色霉斑的样品都能检测出脱氧雪腐镰刀菌烯醇, 仅有 5 个能检测出玉米赤霉烯酮, 但均未检测出黄曲霉毒素 B₁。6 个脐深或黑色霉斑的样品都能检测出脱氧雪腐镰刀菌烯醇, 4 个能检测出玉米赤霉烯酮, 但均未检测出黄曲霉毒素 B₁。

虽然带有白色菌斑和绿色菌斑的样品中均检测到黄

曲霉的存在, 但所有样品均未检出黄曲霉毒素 B_1 , 推测因为该毒素产生的适宜温度为 $30\sim 38^\circ\text{C}$ ^[13], 而辽宁省位于北方全省年平均气温仅为 10.2°C , 并不适合黄曲霉毒素 B_1 的产生。

2.4 感官检验辅助图谱

本研究中采集到的受真菌污染的玉米籽粒外观形态、霉斑颜色可以作为一种快速筛选工具(图 1), 结合前面优势菌鉴定结果和真菌毒素检测结果, 可用于初步评估新收获玉米籽粒中真菌毒素感染风险。同一颜色的霉斑可能与多种真菌有关, 而不同的真菌产毒能力也有所区别, 且内生菌无法在外观上得到全面的体现。所以感官检验的辅助图谱只能作为初步筛选, 详细的真菌污染情况和真菌毒素含量还需要进一步的实验分析。



注: A. 红色霉斑; B. 白色霉斑; C. 绿色霉斑; D. 黑色霉斑; E. 脐深。

图1 带霉斑的玉米籽粒

Fig.1 Corn kernels with moldy spots

3 讨论与结论

本研究针对辽宁省新收获玉米生霉粒不同霉斑颜色籽粒的附生菌和内生菌带菌情况和真菌毒素含量进行了检测、分析。研究结果表明, 霉斑颜色与特定的真菌种群存在一定的关联性, 红色、白色、黑色霉斑和脐深可能表明木霉属、镰孢菌属的存在, 绿色霉斑可能表明了木霉属、蓝状菌属的存在。此外, 真菌毒素检测结果表明红色、白色、黑色霉斑和脐深可能表明样品中存在玉米赤霉烯酮、脱氧雪腐镰刀菌烯醇的感染风险, 绿色霉斑可能表明存在脱氧雪腐镰刀菌烯醇的感染风险。

镰孢菌属大部分真菌能产毒^[14], 比如藤仓镰孢复合系群中的串珠镰孢、藤仓镰孢和层出镰孢均能合成伏马毒素、串珠镰孢毒素、恩镰孢毒素等^[15-19]。禾谷镰孢复合系中的物种能产生脱氧雪腐镰刀菌烯醇、雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮和镰刀菌烯酮等^[20-22]。三线镰孢复合系群, 燕麦镰孢和三线镰孢能产生黄色镰刀菌素、串珠镰孢毒素、恩镰孢毒素^[23], 这些毒素都对人畜健康构成风险。与本研究红色、白色、黑色霉斑和脐深的优势菌和毒素检测结果相吻合。

木霉属在本研究的红色、白色、黑色、绿色霉斑和脐深样品中均为优势菌, 木霉属的菌丝生长浓密, 初期呈白

色棉絮状, 逐步产生浅绿色孢子。菌落形态为中央深绿色, 向外逐渐变浅, 直至边缘呈白色; 后期颜色加深或使被污染的玉米样品出现黑斑。从木霉属中分离到的代谢产物主要包括聚酮类、萜烯类、氨基酸及其衍生物等, 具有抗植物病原真菌活性、促进植物生长活性、抗酵母活性、抗细菌活性、抗病毒活性等^[24-27]。还有研究证明, 木霉菌可以作为一种生物防治手段, 能诱导玉米抵抗镰孢菌病害^[28]。因此, 木霉属真菌可能不是主要的毒素生产者, 但其产生的色素一定程度上引起粮食变色, 影响其保存品质。

篮状菌属大多产生黄色和红色色素, 在本研究中该菌属主要是从绿色霉斑样品中分离得到, 红色、白色霉斑样品中偶见篮状菌属作为内生菌出现。有研究报道过篮状菌属中有些菌种会产生真菌毒素, 如产紫篮状菌会产生赤毒素, 岛篮状菌不仅会产生多种真菌毒素, 如环氯素、岛毒素、赤霉毒素和土黄霉素, 还会导致大米发黄成为黄变米, 根篮状菌、细皱篮状菌和沃特曼篮状菌能产生赭霉素和细皱素, 这些毒素均有一定的毒性或致癌性, 对粮食安全造成威胁^[29-30]。

本研究基于对霉斑色泽、真菌种群构成及真菌毒素产生能力之间的联系进行分析, 提出了感官检验辅助图谱作为快速筛选工具, 旨在初步评估收获后玉米潜在的食品安全隐患。然而, 此工具目前尚不能作为实验室化学与生物分析的替代品。原因在于同一颜色的霉斑可能涉及多种真菌的复合感染, 而不同真菌在毒素生成能力上呈现出显著的差异性, 甚至真菌间可能产生复杂的相互作用, 进一步增加了评估的复杂性。此外, 玉米籽粒内部亦可能遭受真菌的隐性污染, 仅凭外观观察无法准确判定污染的实际范围。鉴于本研究所采用的样本规模相对有限, 未来建议在玉米收获后的处理、储存及运输环节中, 采集更具代表性的样本, 以扩充研究样本量。在此基础上, 应结合霉斑色泽这一直观指标与传统的真菌检测技术, 不断优化和完善感官检验辅助图谱, 以期能更精准地制定风险管理与控制策略, 从而有效降低玉米霉变所带来的风险。通过这一系列的改进措施有望为玉米的食品安全管理提供更为科学、有效的技术支持。

参考文献

- [1] CARBAS B, SIMES D, SOARES A, et al. Occurrence of *Fusarium* spp. in maize grain harvested in Portugal and accumulation of related mycotoxins during storage [J]. *Foods*, 2021, 10(2): 375–389.
- [2] 姚彦坡, 朱永官, 褚海燕. 防控玉米穗腐病日益紧迫[J]. *农业环境科学学报*, 2023, 42(11): 2383–2385.
- YAO YP, ZHU YG, CHU HY. Prevention and control of maize ear rot is increasingly urgent [J]. *J Agric Environ Sci*, 2023, 42(11): 2383–2385.
- [3] 吴晓彤. 玉米穗腐病抗性评价与鉴定[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2022.
- WU XT. Resistance evaluation and identification of maize ear rot [D]. Harbin: Heilongjiang University, 2022.
- [4] 刘晓萌, 王寿南, 沈玉现, 等. 智能真菌毒素消减机对玉米中真菌毒素的脱除效果研究[J]. *食品安全导刊*, 2023, (11): 108–121.
- LIU XM, WANG SN, SHEN YX, et al. Study on the removal effect of

- mycotoxins in corn by intelligent mycotoxin reducer [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2023, (11): 108–121.
- [5] 朱旭东. 2022 年度辽宁新收获玉米在农户储存期间真菌毒素现状的调查与探讨[J]. *粮食加工*, 2023, 48(5): 98–102.
- ZHU XD. Investigation and discussion on the status of mycotoxins during the storage of newly harvested corn in Liaoning Province in 2022 [J]. *Food Process*, 2023, 48(5): 98–102.
- [6] 姜友军, 陈晋莹, 徐广超, 等. 玉米生霉粒和霉变粒与真菌毒素含量关系的研究分析[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(2): 129–133.
- JIANG YJ, CHEN JY, XU GC, *et al.* Analysis of the relationship between the content of mycotoxins and moldy and moldy corn kernels [J]. *Chin J Cere Oils*, 2020, 35(2): 129–133.
- [7] 雒芳, 卢献礼, 郭家柱. 玉米生霉粒、霉变粒与真菌毒素含量相关性分析[J]. *粮油仓储科技通讯*, 2020, 36(6): 42–44.
- LUO F, LU XL, GUO JZ. Correlation analysis of corn moldy grains, moldy grains and mycotoxin content [J]. *Grain Oil Storage Technol Newsletter*, 2020, 36(6): 42–44.
- [8] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- WEI JC. Handbook of fungal identification [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1979
- [9] 陈其瑛. 镰刀菌属[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- CHEN QY. *Fusarium* [M]. Beijing: Agricultural Press, 1988.
- [10] 张小春, 田艳萍, 陈昊, 等. 我国西南地区主要谷物表面污染真菌的分离与分子鉴定[J]. *成都医学院学报*, 2016, 11(2): 191–201.
- ZHANG XC, TIAN YP, CHEN H, *et al.* Isolation and molecular identification of fungi on the surface of main grains in Southwest China [J]. *J Chengdu Med Coll*, 2016, 11(2): 191–201.
- [11] 王桂清, 曾路, 马迪, 等. 国槐根茎腐烂病原菌的形态与分子鉴定[J]. *东北林业大学学报*, 2017, 45(5): 106–110.
- WANG GQ, ZENG L, MA D, *et al.* Morphological and molecular identification of the pathogen of *Sophora japonica* rhizome rot [J]. *J Northeast Fore Univ*, 2017, 45(5): 106–110.
- [12] 刘姣姣, 严哲伟, 张义菊, 等. 一株沙福芽胞杆菌 ZG6 的筛选、鉴定及其对茶树轮斑病的生防潜力研究[J]. *中国生物防治学报*, 2023, 39(1): 212–220.
- LIU JJ, YAN ZW, ZHANG YJ, *et al.* Screening and identification of a strain of *Bacillus safensis* ZG6 and its biocontrol potential against tea ring spot [J]. *Chin J Biol Control*, 2023, 39(1): 212–220.
- [13] 张俊勇, 徐素荣. 黄曲霉毒素毒性及去毒措施[J]. *中国食物与营养*, 2001, 7(5): 47–48.
- ZHANG JY, XU SR. Aflatoxin toxicity and detoxification measures [J]. *Chin Food Nutr*, 2001, 7(5): 47–48.
- [14] NZANZA B, MARAIS D, SOUNDY P. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedling growth and development as influenced by *Trichoderma harzianum* and *Arbuscular mycorrhizal* fungi [J]. *African J Microbiol Res*, 2011, 5(4): 425–431.
- [15] DEGENKOLB T, DIECKMANN R, SAMUELS G, *et al.* The *Trichoderma brevicompactum* clade: A separate lineage with new species, new peptaibiotics, and mycotoxins [J]. *Mycological Progress*, 2008, 7(3): 177–219.
- [16] MUKHERJEE P, HORWITZ B, KENERLEY C. Secondary metabolism in *Trichoderma*—a genomic perspective [J]. *Microbiology*, 2012, 158(Pt 1): 35–45.
- [17] YEDIDIA I, SRIVASTVA A, KAPULNIK Y, *et al.* Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants [J]. *Plant Soil*, 2001, 235(2): 235–242.
- [18] CHOI J, LEE S, NAH J, *et al.* Species composition of and fumonisin production by the *Fusarium fujikuroi* species complex isolated from Korean cereals [J]. *Int J Food Microbiol*, 2018, 267: 62–69.
- [19] QIU J, LU Y, HE D, *et al.* *Fusarium fujikuroi* species complex associated with rice, maize, and soybean from Jiangsu Province, China: Phylogenetic, pathogenic, and toxigenic analysis [J]. *Plant Disease*, 2020, 104(8): 2193–2201.
- [20] MEREL D, SAVOIE J, MATA G, *et al.* Methanolic extracts from cultivated mushrooms affect the production of fumonisins B and fusaric acid by *Fusarium verticillioides* [J]. *Toxins*, 2020, 12(6): 111–121.
- [21] HUANG W, ZHOU P, SHEN G, *et al.* Relationship between mycotoxin production and gene expression in *Fusarium graminearum* species complex strains under various environmental conditions [J]. *J Microbiol*, 2023, 61(5): 525–542.
- [22] DONG F, XING Y, LEE Y, *et al.* Occurrence of *Fusarium* mycotoxins and toxigenic *Fusarium* species in freshly harvested rice in Jiangsu, China [J]. *World Mycotoxin J*, 2020, (12): 201–212.
- [23] LARABA I, BUSMAN M, GEISER D, *et al.* Phylogenetic diversity and mycotoxin potential of emergent phytopathogens within [J]. *Phytopathology*, 2022, 112(6): 1284–1298.
- [24] 陈捷, 窦恺, 高永东, 等. 木霉菌在玉米病害生物防治中的作用机制及应用[J]. *菌物学报*, 2014, (6): 1154–1167.
- CHEN J, DOU K, GAO YD, *et al.* The mechanism and application of *Trichoderma* in biological control of maize diseases [J]. *J Fungi*, 2014, (6): 1154–1167.
- [25] 祁智慧, 庄媛, 张海洋, 等. 粮食上木霉菌的分离鉴定及其生防效果[J]. *微生物学通报*, 2023, 50(7): 2860–2875.
- QI ZH, ZHUANG Y, ZHANG HY, *et al.* Isolation, identification and biocontrol effect of *Trichoderma* on grain [J]. *Microbiol Bull*, 2023, 50(7): 2860–2875.
- [26] BRAY R, CRIBB T, JUSTINE J. New observations on the genus *Hypocreadium ozaki*, 1936 (Digenea:Lepocreadiidae) in the Indo-West Pacific region, including the description of one new species [J]. *Zootaxa*, 2009, 2009(2110): 22–40.
- [27] BŁASZCZYK L, BASIŃSKA-BARCZAK A, ĆWIEK-KUPCZYŃSKA H, *et al.* Suppressive effect of *Trichoderma* spp. on toxigenic *Fusarium* species [J]. *Polish J Microbiol*, 2017, 66(1): 85–100.
- [28] 贺安乐. 木霉菌诱导玉米抗镰孢菌病害机理[D]. 上海: 上海交通大学, 2019.
- HE ANL. The mechanism of maize resistance to *Fusarium* disease induced by *Trichoderma* [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2019.
- [29] WADA S, USAMI I, UMEZAWA Y, *et al.* Rubratoxin A specifically and potently inhibits protein phosphatase 2A and suppresses cancer metastasis [J]. *Cancer Sci*, 2010, 101(3): 743–750.
- [30] OH J, KIM E RYOO M, *et al.* Morphological and molecular identification of *Penicillium islandicum* Isolate KU101 from stored rice [J]. *Plant Pathol J*, 2008, 24(4): 469–473.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)

作者简介



纪立波, 教授级高级工程师, 主要研究方向为粮油质检。

E-mail: 570526148@qq.com



陈晋莹, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: chen2331738@yeah.net