

番茄交链孢病原菌鉴定及产毒分析

刘文静, 何肖云, 傅建炜*, 吴建鸿

(福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所/福建省农产品质量安全重点实验室, 福州 350003)

摘要: 目的 分析番茄病果中交链孢病原菌的分离鉴定及产毒情况。**方法** 采集福建省5个县市番茄病果, 通过切片和组织分离法从番茄病害部位分离纯化病原菌, 结合形态学特征和分子生物学对病原菌进行鉴定。利用超高效液相色谱-串联质谱法对分离得到的交链孢菌产毒能力进行检测分析。**结果** 在发病番茄病害部位分离得到的3株互隔交链孢菌株均具产毒能力, 但毒素种类和产毒能力各有不同。其中, NH06菌株产毒量最高, 可产生细交链孢格孢酮酸(tenuazonic acid, TeA)、交链孢酚(alternariol, AOH)、交链孢酚单甲醚(alternariol monomethyl ether, AME)、交链孢烯(altenuene, ALT)、腾毒素(tentoxin, TEN)5种毒素, 而NP002和NH07仅检出产生4种毒素。**结论** 番茄病果中存在多种交链孢菌, 其产毒能力存在差异。检测发现番茄病果含链格孢霉毒素时, 应及时处理以防成为交链孢菌的污染源, 同时应加强产毒病果产地的环境消毒和对同批果品的保护性灭菌。

关键词: 番茄; 交链孢菌; 产毒分析

Identification and toxigenic analysis of *Alternaria* sp. in tomato

LIU Wen-Jing, HE Xiao-Yun, FU Jian-Wei*, WU Jian-Hong

(Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology Research, Fujian Academy of Agricultural Sciences/Fujian Key Laboratory of Agro-products Quality & Safety, Fuzhou 350003, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the isolation, identification and toxin production of *Alternaria* sp. in tomato diseased fruit. **Methods** Tomato diseased fruits from 5 counties and cities in Fujian province were collected, the pathogens were isolated and purified from tomato diseased parts by slicing and tissue isolation, the pathogens were identified by morphological characteristics and molecular biology, the toxin producing abilities of the isolated *Alternaria* sp. were detected and analyzed by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Results** Three strains of *Alternaria* sp. strains isolated from the diseased site of tomato had the ability to produce toxin, but the types and abilities of toxin production were different. Among them, NH06 strain had the highest toxin production, which could produce 5 kinds of toxins including tenuazonic acid (TeA), alternariol (AOH), alternariol monomethyl ether (AME), altenuene (ALT), and tentoxin (TEN) contains, while NP002 and NH07 strains could only

基金项目: 福建省属公益类科研院所基本科研专项项目(2019R2022-1)、福建省农业科学院自由探索科技创新项目(ZYTS2019028)、福建省“5511”协同创新工程项目(XTCXGC2021020)、福建省科技经济融合服务平台项目(FJKX2020-5)、福建省农业科学院创新团队项目(CXTD2021011-1)

Fund: Supported by the Fujian Province Basic Research Projects for Public Service Research Institutes (2019R2022-1), the Free Exploration Science and Technology Innovation Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences (ZYTS2019028), the Fujian "5511" Collaborative Innovation Project (XTCXGC2021020), the Fujian Science Technology and Economy Integration Service Platform (FJKX2020-5), and the Fujian Academy of Agricultural Sciences Innovation Team Project (CXTD2021011-1)

*通信作者: 傅建炜, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与风险评估。E-mail: 20281349@qq.com

*Corresponding author: FU Jian-Wei, Ph.D, Professor, Institute of Quality Standards & Testing Technology for Agro-products, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China. E-mail: 20281349@qq.com

produce 4 kinds of toxins. **Conclusion** There are many *Alternaria* sp. in tomato diseased fruit, and their toxin production abilities are different. If *Alternaria* toxins are found in tomato diseased fruit, it should be treated in time to prevent it from becoming a pollution source of *Alternaria* sp.. At the same time, the environmental disinfection of the producing area of poisonous and diseased fruits and the protective sterilization of the same batch of fruits should be strengthened.

KEY WORDS: tomato; *Alternaria* sp.; toxigenic analysis

0 引言

交链孢菌(*Alternaria* sp.)可引起番茄黑斑病、早疫病、茎枯病等众多病害^[1-2],该病菌可产生 70 余种有毒有害的次级代谢物,统称为链格孢霉毒素(*alternaria mycotoxins*)^[3],其中主要有交链孢酚(*alternariol*, AOH)、交链孢酚单甲醚(*alternariol monomethyl ether*, AME)、细交链孢孢酮酸(*tenuazonic acid*, TeA)、交链孢烯(*altenuene*, ALT)、腾毒素(*tentoxin*, TEN)^[4-6]。链格孢霉毒素已被证明具有致癌、致突变能力并具有细胞毒性^[7-8]。虽然其急性病变能力相较黄曲霉毒素较低,但已有数据证明链格孢霉毒素与其他污染物可以协同作用增加其毒性,严重危害人体健康^[9]。

中国是世界上主要的番茄生产国、消费国、贸易国^[10]。由于番茄属于典型的呼吸跃变型果实,采后容易发生衰老,在生产、储藏、加工过程中极易受到交链孢菌等真菌病原的污染引起腐烂。在番茄制品的加工过程中,虽然通过剔除番茄原料中可见的染病或腐烂部分可降低毒素及致病菌污染的风险,但是部分番茄果实可能感染交链孢菌而表皮无明显变化,因此并不能完全消除番茄制品受链格孢霉毒素污染的潜在风险^[11]。

目前国内外对番茄及其制品污染链格孢霉毒素已有较多的报道^[12-15],报道主要针对毒素的检测方面,如韦迪哲等^[16]建立了同时检测番茄酱中 18 种真菌毒素的超高效液相色谱-串联质谱法(*ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry*, UPLC-MS/MS);周贻兵等^[17]采用 QuEChERS 净化-超高效液相色谱-串联质谱法测定番茄中 5 种链格孢霉毒素的含量。对番茄果实或制品上交链孢菌的分离鉴定相比之下较少。乔镜澄等^[18]采用分子生物学手段对 5 株番茄交链孢菌黑斑病的病原菌进行鉴定研究,初步确定为交链孢菌,但并未对其产毒素能力进行研究。研究表明,番茄中链格孢霉毒素种类及含量与其感染的交链孢菌种类有关^[19-20],因此,对番茄链格孢霉毒素污染的研究应结合产毒菌株鉴定及其所产毒素种类和含量检测进行。

本研究从福建省 5 个番茄种植产区番茄病果中分离纯化致病菌株,采用形态学结合分子生物学方法进行鉴定,并通过菌株接种番茄诱发致病,鉴定并检测番茄果实中链格孢霉毒素的种类和含量,以期对番茄果实链格孢霉毒素污染的防治提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

番茄病果采自福建省三明市、南平市、龙岩市番茄种植农场。于番茄采摘时期,从种植产区随机采摘番茄病果,其中在三明市收集 52 份、南平市收集 8 份、龙岩市收集 10 份,共计 70 份番茄病果。

1.1.2 试剂及培养基

交链孢酚、交链孢酚单甲醚、细交链孢孢酮酸、交链孢烯、腾毒素标准品(纯度>99%,加拿大 Toronto Research Chemicals 公司);乙腈(质谱纯,德国 Merck 公司);甲酸(色谱纯,美国 Waters 公司);二氯甲烷、乙酸乙酯、乙醇、正己烷、次氯酸钠(分析纯,国药集团上海化学试剂厂);马铃薯葡萄糖琼脂培养基(*potato dextrose agar*, PDA)(美国 BHI 公司);真菌基因组 DNA 抽提试剂盒[生工生物工程(上海)有限公司];T3 Super PCR Mix 扩增试剂(北京擎科新业科技有限公司);真菌通用引物 ITS1、ITS2 的合成及扩增产物的测序由生工生物工程(上海)股份有限公司完成。

1.1.3 仪器与设备

ACQUITY UPLC H-CLASS 超高效液相色谱-串联质谱仪(美国 Waters 公司);BSC-1360IIA2 生物安全柜(北京东联哈尔公司);LRH-250F 生化培养箱(上海一恒公司);ABI Veriti96 PCR 仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司);DM500 显微镜(瑞士 Leica 公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 病原菌的分离与纯化

参考组织分离方法^[21],在无菌条件下将番茄病斑及周围区域用 75% 的酒精表面消毒,切取番茄病健交界处组织,放入 75% 酒精消毒 30 s,再转入 3% 次氯酸钠溶液消毒 2 min,用无菌水清洗 3 次,确保表面杂菌清洗干净,将组织置于灭菌滤纸上晾干,将晾干后番茄病组织接种至 PDA 平板上,每皿接种 4 块样品,于 25 °C 下培养 3 d。用接种针挑取 PDA 平板上番茄病健交界处组织长出的菌丝置于新 PDA 平板上,于 25 °C 培养,直至得到纯化菌株,用于后续实验。

1.2.2 真菌形态鉴定

待纯化菌株培养 7 d,观察菌株的菌落、菌丝和孢子,

并记录形态特征, 根据真菌形态学鉴定手册进行判定^[22]。

1.2.3 病原菌的分子学鉴定

利用真菌 DNA 提取试剂盒提取疑似交链孢菌株 DNA, 选用真菌通用引物 ITS1: TCCGTAGGTGAACCTGCG、ITS4: TCCTCCGCTTATTGATATGC 进行 ITS 片段的 PCR 扩增, PCR 条件为 95 °C、2 min 1 个循环; 95 °C、30 s, 55 °C、30 s, 72 °C、2 min 33 个循环; 72 °C、7 min 1 个循环, 反应体系为 25 μL。将扩增后的 PCR 产物进行琼脂糖凝胶电泳检测并委托生工生物工程(上海)股份有限公司测序, 将测序得到的基因序列在美国国家生物技术信息中心(National Center of Biotechnology Information, NCBI)上进行基于局部比对算法的搜索工具 Blast (basic local alignment search tool) 比对, 用 MEGA 7.0 软件中的邻接法(neighbor-joining, NJ)构建系统发育树。

1.2.4 病原菌接种番茄

将分离得到的交链孢菌用无菌水制备成孢子悬浮液。用 75%酒精对健康的番茄表明消毒, 在番茄表面划“×”字伤口, 使用移液器于伤口处加入 20 μL 孢子悬浮液, 25 °C 下培养 10 d^[23]。

1.2.5 番茄样品中毒素提取与检测

(1) 提取

番茄样品中毒素提取方法参考姜冬梅等^[11]略作改动。将番茄整果匀浆, 称取 5.0 g 匀浆液置于 50 mL 离心管中, 加入含 1%甲酸的乙腈/水(80:20, V:V)溶液 25 mL, 涡旋振荡 30 min, 10000 r/min 离心 15 min, 移取 5 mL 上清液过固相萃取(solid phase extraction, SPE)小柱, 收集流出液氮吹尽干, 用 1 mL 乙腈/水(30:70, V:V)复溶, 过 0.2 μm 滤膜过滤, 超高效液相色谱-串联质谱仪分析。

(2) 检测条件

色谱条件: 色谱柱 Waters ACQUITY HSS T3 C₁₈ 柱 (100.0 mm×2.1 mm, 1.7 μm), 流速为 300 μL/min, 柱温为 40 °C, 进样体积为 2 μL。流动相: 乙腈(A), 0.1% (V:V)甲酸水溶液(B); 梯度洗脱程序: 0.0~1.5 min, 10%~40% A; 1.5~3.0 min, 40%~90% A; 3.0~4.0 min, 90% A; 4.0~4.5 min, 90%~10% A; 4.5~7.0 min, 10% A。

质谱条件: 质谱分析的离子源为电喷雾正离子源 (electron spray ionization, ESI⁺), 毛细管电压为 1.00 kV, 去溶剂气流速为 1000 L/hr, 气化温度为 500 °C, 检测方式为多反应离子监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式, 离子源温度为 120 °C, 碰撞气为氩气, 被测物母离子、子离子和碰撞能量见表 1。

2 结果与分析

2.1 致病菌的形态学鉴定

对所采集的番茄病果进行病原菌分离纯化培养, 共获得 3 株疑似为交链孢菌株, 编号为 NP002、NH06、NH07。PDA 平板培养后 3 株菌株生长状态相似, 菌丝均为发达平展且呈致密的绒毛状, 初期灰白色, 7 d 后变为暗青褐色, 培养基底部变为黑色, 具有明显同心轮纹(图 1)。在显微镜(200×)下的孢子形态见图 2。3 株菌株分生孢子多为单生, 呈淡褐色、倒梨形或倒棍棒形, 表面光滑, 胞身[(20.0~42.0 μm)×(7.5~14.5 μm)], 具有 2~7 个横隔膜、0~3 个纵或斜隔膜, 部分分生孢子处于萌发状态, 侧部萌发生成短分枝或树状分枝。根据相关资料及真菌形态学鉴定手册的相关描述, 结合图 1、2 中所显示的菌落及孢子等形态学特征, 初步鉴定 3 株菌株为互隔交链孢菌(*A. alternata*)^[22]。

表 1 质谱参数
Table 1 Mass spectrum parameters

化合物	母离子(<i>m/z</i>)	子离子(<i>m/z</i>)	碰撞能量/V	毛细管电压/V	保留时间/min
AOH	259.0	185.00*	52	30	3.94
		213.00	52	25	
AME	273.04	128.06*	50	26	4.48
		258.00	50	25	
TeA	198.1	125.05*	30	18	3.89
		153.10	30	14	
ALT	293.1	257.00*	30	14	3.61
		275.00	30	10	
TEN	415.19	171.09*	30	14	3.89
		199.11	30	20	

注: *表示定量离子。

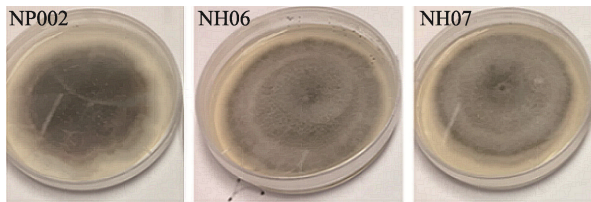


图 1 NP002、NH06、NH07 在培养皿的生长状态
Fig.1 Growth state of NP002, NH06 and NH07 on petri dish

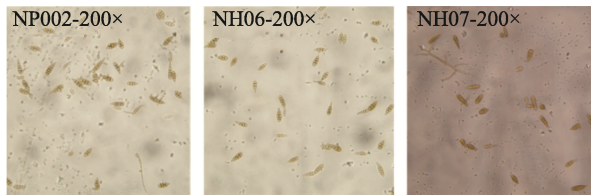


图 2 NP002、NH06、NH07 的孢子形态
Fig.2 Spore morphology of NP002, NH06 and NH07

2.2 致病菌的分子学鉴定

对 NP002、NH06、NH07 进行分子鉴定。选取了链格孢属中的 7 个种, 以导致玉米小斑病的玉蜀黍离蠕孢 (*Bipolaris maydis*) 作为外群, 最终共有 24 条已知种属关系的 ITS 序列参与分析。将 24 条 ITS 序列与 3 株疑似互隔交链孢的 ITS 序列进行比对, 通过 MEGAR 7.0 软件, 用邻接法构建系统发育树, 结果见图 3。由图 3 中的树形可知, 基于 ITS-rDNA 序列构建的系统发育树可以良好地区分开大部分链格孢属的种, 除了 *A. alternata* 与 *A. arborescens*。但是此次分离得到的 3 株疑似互隔交链孢菌株 NP002、NH06、NH07 与互隔交链孢菌 (*A. alternata*) 聚类在一起, 且嵌套在 *A. alternata* 的树支中。因此, 结合分子学结果与形态学结果, 可明确 NP002、NH06、NH07 为互隔交链孢菌 (*A. alternata*)。

2.3 NP002、NH06、NH07 产毒能力研究

将 NP002、NH06、NH07 接种至正常番茄上, 培养 10 d 后见图 4。结果显示接种后番茄果实感染发病, 产

生黑斑, 随着时间延长黑色病斑直径扩大, 并有真菌孢子产生。

采用 UPLC-MS/MS 测定发病番茄中链格孢霉毒素的含量, 结果如表 2 所示。

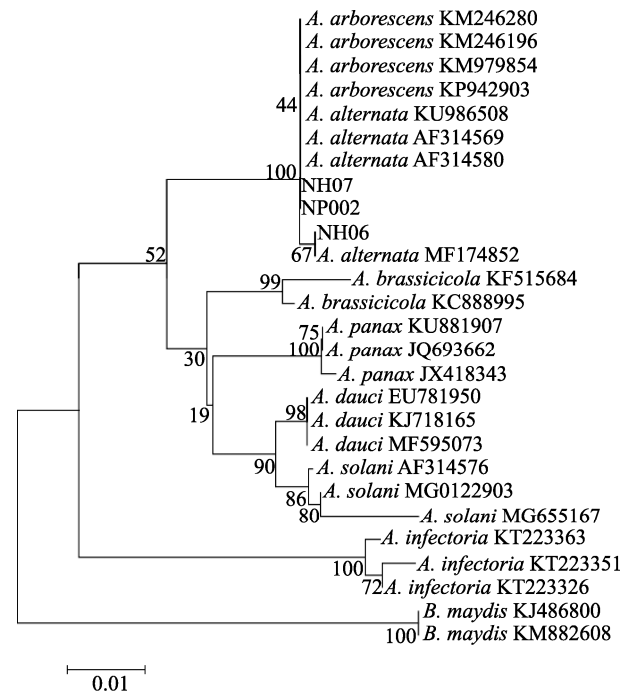


图 3 基于 ITS 基因序列构建的系统发育树
Fig.3 Phylogenetic tree based on ITS sequences

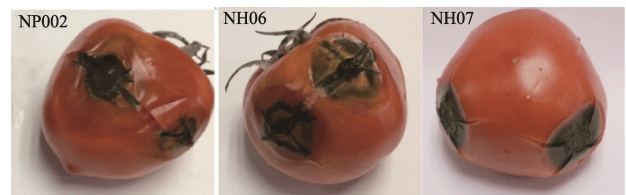


图 4 接种病菌后番茄果实发病情况
Fig.4 Incidence of tomato fruit after inoculating bacteria

表 2 接种 NP002、NH06、NH07 后的番茄中毒素种类及含量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Table 2 Varieties and content of toxin in the tomato after inoculation with NP002, NH06 and NH07 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

菌株	TeA	AOH	AME	ALT	TEN
NP002	1.9±0.2 ^b	2.0±0.4 ^b	/	1.1±0.5 ^a	3.4±0.1 ^a
NH06	5.6±0.3 ^a	42.1±3.2 ^a	19.3±1.3 ^a	2.0±0.2 ^a	3.7±0.2 ^a
NH07	1.7±0.1 ^b	1.1±0.6 ^b	7.6±0.5 ^b	/	3.9±0.4 ^a

注: 数据为平均值±标准偏差, 同列数据后不同小写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$), “/”表示未检出。

从表 2 可见, 3 株交链孢菌接种番茄后, 产毒能力各有不同。其中, 接种 NP002 菌株后, 番茄病果中检测发现 TeA、AOH、ALT、TEN 4 种链格孢霉毒素, AME 未检出; 接种 NH06 菌株后, 番茄病果中 5 种链格孢霉毒素均检出; 接种 NH07 菌株后, 番茄病果中检出 TeA、AOH、AME、TEN, ALT 未检出。从毒素含量检测结果可见, 番茄接种 NH06 菌株后, 病果中 TeA、AOH、AME 含量显著高于接种 NP002 菌株和 NH07 菌株, 均达极显著差异水平($P < 0.01$), 其中 AOH 含量差异最为明显, 接种 NH06 菌株后番茄病果中 AOH 含量约是接种 NP002 菌株的 20 倍, 是接种 NH07 菌株的 40 倍; 而接种 NP002 菌株和 NH07 菌株检出的 TeA、AOH、TEN 毒素含量差异不明显($P > 0.05$)。

3 讨论与结论

本研究从福建省 5 个番茄种植产区番茄病害部位分离纯化出 3 株致病菌株, 结合形态学特征和分子生物学对病原菌进行鉴定, 结果表明 3 株致病菌株为互隔交链孢菌(*A. alternata*)。研究表明, *A. alternata* 是最常见的交链孢菌种类, 也是最重要的链格孢霉毒素产生菌, 它能产生包括 AOH 和 AME 在内的多种链格孢霉毒素^[24]。本研究通过将菌株返接种番茄诱发致病后鉴定、检测番茄果实中链格孢霉毒素的种类和含量, 结果显示 3 株交链孢菌接种番茄后产毒能力不同, 其中 NH06 菌株产毒种类最全, 病果接种后中 TeA、AOH、AME 含量明显高于接种 NP002 菌株和 NH07 菌株($P < 0.01$)。综上可见番茄病果中存在多种交链孢菌, 其产毒能力存在差异。

交链孢菌的产毒性能受产毒真菌的种类、温度和培养条件等多种因素的影响^[25]。POSE 等^[26]在番茄培养基上研究了水分活度(water activity, Aw)和温度对互隔交链孢菌产毒情况的影响, 结果发现 21 °C 和较高的 Aw 有利于互隔交链孢菌产生 AOH 和 TeA, 而较高温度和较高 Aw 有利于产生 AME; VAQUERA 等^[27]在合成番茄培养基上研究了 Aw 和温度对 *A. arborescens* 产毒情况的影响, 结果表明, 温度为 30 °C、水分活度为 0.975 时, AOH 和 AME 的含量达到最高; 温度为 6 °C, 水分活度为 0.95 时, 没有检测到明显的 AOH 和 AME, 因此, 较高的温度和水分活度有利于 *A. arborescens* 产生毒素。本研究将 3 株致病菌株返接至番茄果实, 发现 3 株致病菌株 ITS1-rDNA 序列的邻接树中的比对结果为 NH06 没有与 NP002、NH07 聚类在一起, 而是与 *A. alternata* 聚类在一起, 可见 NH06 与 NP002、NH07 具有一定的差异。3 株菌 ITS1-rDNA 序列比对结果的差异与产毒能力的差异是否相关有待进一步确认。已有研究报道交链孢菌合成 AOH 的关键基因^[28-29], 对 3 株菌株进行基因测序, 验证产毒能力不同是否与此

些基因有关是后续研究重点。

参考文献

- [1] 王瑶, 姜冬梅, 姜楠, 等. 番茄中交链孢菌及其产毒的防治技术研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 275-281.
WANG Y, JIANG DM, JIANG N, *et al.* Research progress in the control of *Alternaria* species and its toxin accumulation in tomato fruits [J]. Food Sci, 2017, 38(23): 275-281.
- [2] MEENA M, SAMAL S. *Alternaria* host-specific (HSTs) toxins: An overview of chemical characterization, target sites, regulation and their toxic effects [J]. Toxicol Reports, 2019, 6: 745-758.
- [3] 蒋黎艳, 龚蕾, 盖智星, 等. 人工接种温州蜜柑后链格孢霉毒素的产生及分布规律[J]. 食品科学, 2017, 38(8): 251-257.
JIANG LY, GONG L, GAI ZX, *et al.* Production and distribution of *Alternaria* mycotoxins in satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) artificially inoculated with *Alternaria alternata* [J]. Food Sci, 2017, 38(8): 251-257.
- [4] OSTRY V. *Alternaria* mycotoxins: An overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs [J]. World Mycotoxin J, 2008, 1(2): 175-188.
- [5] LOGRIECO A, BOTTALICO A, MULÉ G, *et al.* Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops [J]. Eur J Plant Pathol, 2003, 109(7): 645-667.
- [6] PATRIARCA A, AZCARATE MP, TERMINIELLO L, *et al.* Mycotoxin production by *Alternaria* strains isolated from Argentinean wheat [J]. Int J Food Microbiol, 2007, 119(3): 219-222.
- [7] RYCHLIK M, LEPPER H, WEIDNER C. Risk evaluation of the *Alternaria* mycotoxin tenuazonic acid in foods for adults and infants and subsequent risk management [J]. Food Control, 2016, 68: 181-185.
- [8] PUNTSCHER H, HANKELE S, TILLMANN K, *et al.* First insights into *Alternaria* multi-toxin *in vivo* metabolism [J]. Toxicol Lett, 2019, 301: 168-178.
- [9] BERTHILLER F, CREWS C, DALL A, *et al.* Masked mycotoxins: A review [J]. Molecul Nutr Food Res, 2013, 57(1): 165-186.
- [10] JIANG N, LI ZL, WANG LQ, *et al.* Effects of ultraviolet-c treatment on growth and mycotoxin production by *Alternaria* strains isolated from tomato fruits [J]. Int J Food Microbiol, 2019, 311: 108333.
- [11] 姜冬梅, 韦迪哲, 王瑶, 等. 番茄交链孢菌病斑及其外延组织中交链孢霉毒素的分布[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(22): 5858-5862.
JIANG DM, WEI DZ, WANG Y, *et al.* Distribution of *alternaria* mycotoxins in decayed locations and their extension tissues of tomato infected with *Alternaria alternata* [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(22): 5858-5862.
- [12] 姜楠, 王蒙, 韦迪哲, 等. 果蔬中真菌毒素污染及臭氧防治研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(11): 4415-4420.
JIANG N, WANG M, WEI DZ, *et al.* Progress on mycotoxins contamination and ozone degradation in fruits and vegetables [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(11): 4415-4420.
- [13] PATRIARCA A. *Alternaria* in food products [J]. Curr Opin Food Sci, 2016, (11): 1-9.
- [14] LÓPEZ P, VENEMA D, DE RIJKT, *et al.* Occurrence of *Alternaria* toxins in food products in the Netherlands [J]. Food Control, 2016, 60: 196-204.

- [15] HICKERT S, BERGMANN M, ERSEN S, *et al.* Survey of *Alternaria*, toxin contamination in food from the German market, using a rapid HPLC-MS/MS approach [J]. *Mycotoxin Res*, 2016, 32(1): 7–18.
- [16] 韦迪哲, 王蒙, 王瑶, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定番茄酱中18种真菌毒素[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(9): 3304–3309. WEI DZ, WANG M, WANG Y, *et al.* Simultaneous determination of 18 kinds of mycotoxins in tomato paste by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(9): 3304–3309.
- [17] 周贻兵, 李磊, 吴玉田, 等. QuEChERS 净化-超高效液相色谱-串联质谱法测定番茄中 5 种链格孢霉毒素的含量[J]. *理化检验*, 2019, (9): 1036–1041. ZHOU YB, LI L, WU YT, *et al.* Determination of five *Alternaria* toxins in tomatoes by UHPLC-MS/MS with purification by QuEChERS [J]. *Phys Test Chem*, 2019, (9): 1036–1041.
- [18] 乔镜澄, 刘宇, 马敬昊, 等. 番茄黑斑病原菌的鉴定及生物学特性研究[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(10): 94–97. QIAO JC, LIU Y, MA JH, *et al.* Identification and biological characteristics of tomato black spot pathogen [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2017, 45(10): 94–97.
- [19] EVELIEN VDP, NICK D, LIESBETH J, *et al.* Screening of moulds and mycotoxins in tomatoes, bell peppers, onions, soft red fruits and derived tomato products [J]. *Food Control*, 2014, 1(37): 453–458.
- [20] NTASIOU P, MYRESIOTIS C, KONSTANTINOUS S, *et al.* Identification, characterization and mycotoxigenic ability of *Alternaria* spp. causing core rot of apple fruit in Greece [J]. *Int J Food Microbiol*, 2015, 197: 22–29.
- [21] 开凯, 毕婉玲, 张卫, 等. 番茄酸腐病原菌分离鉴定和抑菌剂抑制效果[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2021, 44(7): 987–992. KAI K, BI WL, ZHANG W, *et al.* Isolation and identification of tomato sour rot pathogens and control effect of bacteriostatic agents [J]. *J Hefei University Technol (Nat Sci Ed)*, 2021, 44(7): 987–992.
- [22] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979. WEI JC. *Identification Manual* [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1979.
- [23] 曲劲尧, 林煜程, 毛馨, 等. 链格孢霉菌侵染番茄产毒机制[J]. *食品科学*, 2021, 42(15): 180–186. QU JY, LIN YC, MAO X, *et al.* Occurrence patterns of *alternaria* toxins in tomatoes inoculated with *Alternaria* spp. [J]. *Food Sci*, 2021, 42(15): 180–186.
- [24] PASTER N, BARKAI-GOLAN R. Mouldy fruits and vegetables as a source of mycotoxins: Part 1 [J]. *World Mycotoxin J*, 2008, 1(2): 147–159.
- [25] 姜冬梅, 王瑶, 姜楠, 等. 农产品及其制品中交链孢酮和交链孢酮单甲醚研究进展[J]. *食品科学*, 2017, 38(21): 287–293. JIANG DM, WANG Y, JIANG N, *et al.* Review on alternariol and alternariol monomethyl ether in agro-products [J]. *Food Sci*, 2017, 38(21): 287–293.
- [26] POSE G, PATRIARCA A, KYANKO V, *et al.* Water activity and temperature effects on mycotoxin production by *Alternaria alternata* on a synthetic tomato medium [J]. *Int J Food Microbiol*, 2010, 142(3): 348–353.
- [27] VAQUERA S, PATRIARCA A, FERNÁNDEZ PV. Water activity and temperature effects on growth of *Alternaria arborescens* on tomato medium [J]. *Int J Food Microbiol*, 2014, 185(1): 136–139.
- [28] SAHA D, FETZNER R, BURKHARDT B, *et al.* Identification of a polyketide synthase required for alternariol (AOH) and alternariol-9-methyl ether (AME) formation in *Alternaria alternata* [J]. *PLoS One*, 2012, 7(7): 1–14.
- [29] CHOOI YH, MURIA-GONZALEZ MJ, MEAD OL, *et al.* *SnpkS19* encodes the polyketide synthase for alternariol mycotoxin biosynthesis in the wheat pathogen *Parastagonospora nodorum* [J]. *Appl Environ Microb*, 2015, 81(16): 5309–5317.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



刘文静, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。
E-mail: 411935637@qq.com



傅建伟, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与风险评估。
E-mail: 20281349@qq.com