

“守护粮食食品安全，全球携手在行动” 特约专栏文章之八

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.06.008

王松雪, 李森, 李冰杰, 等. MyToolBox 真菌毒素综合管理系统概述及中国应用展望[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(6): 111-118.

WANG S X, LI S, LI B J, et al. Research on the MyToolBox mycotoxin integrated management system and its application prospects in China[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(6): 111-118.

MyToolBox 真菌毒素综合管理系统概述及中国应用展望

王松雪, 李 森, 李冰杰, 蔡 娣, 叶 金

(国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

摘 要: 全球每年由于真菌毒素污染造成大量的粮食浪费和经济损失, 对其预防和控制是当今世界性的难题。欧盟“地平线 2020 计划” MyToolBox 项目是基于目前真菌毒素污染方面的防控研究, 建立主要粮油食品和饲料真菌毒素综合管理系统。该系统提出包括种植、收获、干燥、储藏、加工以及超标粮食综合利用等的整体解决方案, 旨在从农田到餐桌全链条保障食品安全, 减少由于真菌毒素污染导致的浪费和经济损失, 达到资源合理利用。对 MyToolBox 真菌毒素综合管理系统进行整体介绍, 并对其在中国应用提出了建议。

关键词: 真菌毒素; 预防与控制; 储藏; 加工; 综合利用; 综合管理系统; 地平线 2020 计划

中图分类号: TS201.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2021)06-0111-07

网络首发时间: 2021-11-02 14:21:03

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20211101.2010.028.html>

Research on the MyToolBox Mycotoxin Integrated Management System and its Application Prospects in China

WANG Song-xue, LI Sen, LI Bing-jie, CAI Di, YE Jin

(Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

Abstract: Grain waste and economic losses caused by mycotoxin happened every year in the world. Nonetheless, prevention and control of these toxic secondary metabolites remain difficult. MyToolBox, a four-year project which has received funding from EU's Horizon 2020, proposes an integrated, affordable and practical mycotoxin management system covering the whole chain, from field, harvest, drying, storage, food processing, to waste management alternative energy, to ensure food and feed security and safety. This paper presents an overview of MyToolBox mycotoxin integrated management system and puts forward suggestions for its application in China.

Key words: mycotoxin; prediction and control; storage; process; waste management alternative energy; integrated management system; EU's Horizon 2020 project

收稿日期: 2021-07-31

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFE0113000)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No. 2016YFE0113000)

作者简介: 王松雪, 男, 1977 年出生, 博士, 研究员, 研究方向为粮油质量安全检测。E-mail: wsx@ags.ac.cn. 作者详细介绍见 PC29.

共同第一作者: 李森, 女, 1988 年出生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为粮食中真菌毒素监测预警。E-mail: lis@ags.ac.cn.

真菌毒素是由真菌产生的具有毒性的次级代谢产物，人和动物摄入后会引发各种疾病，如癌症、生殖系统障碍、肝肾功能障碍、大骨节病、克山病等^[1-5]。农作物在种植、收获、储藏和加工过程中非常容易感染真菌毒素。据联合国粮农组织资料，全球每年约有 25% 的农作物不同程度地受到真菌毒素污染，每年由此造成的经济损失高达数千亿美元^[6]。欧盟委员会指出，5%~10% 的作物由于受到真菌毒素污染造成损失和浪费^[7]。2012 年塞尔维亚的严重干旱导致 70% 的玉米作物被黄曲霉毒素污染^[8]，用这种玉米喂养奶牛，会导致牛奶中黄曲霉毒素 M1 水平高达欧盟法规限制的两倍。然而，2014 年灾难性的洪水和多雨的夏季导致塞尔维亚黄曲霉毒素 B1 水平较低，但呕吐毒素水平较高^[9]。我国问题也十分突出，据报道^[10]我国每年有 3 100 万 t 粮食被真菌污染，约占粮食年总产量的 6.2%。根据我国卫生部门的有关监测，2009 年和 2010 年我国小麦粉、玉米制品中呕吐毒素和玉米赤霉烯酮的检出率均在 53% 以上，有的甚至高达 100%^[11-12]。全球农作物

真菌毒素污染情况不容乐观，粮油食品和饲料质量安全也备受全球关注，全球 100 多个国家规定了食品和饲料中主要真菌毒素的限量^[13]。

从根本上减少农作物由于真菌毒素污染造成的损失和浪费，需要在生产、储藏和加工的过程中进行预防和控制。由于受各种因素影响，不同地区、不同年份间污染差异较大^[14]，因此开展预防和控制非常困难。目前，一些研究表明在田间作物生长过程中的温度、湿度、降雨等天气情况，作物抗性等级，作物田间管理方式，如耕作、轮作、灌溉、种植密度等，作物的病虫害发生情况、施药情况等，均会对收获后作物真菌毒素污染水平产生影响^[15]；在储藏过程中，储藏环境的温度、湿度、物理破坏，作物本身的水分含量等会使储藏作物的真菌毒素水平发生变化^[16]。但保证从农田到餐桌全链条食品安全，对真菌毒素进行预防和控制，仍然缺少完整的解决方案。

MyToolBox 项目由欧盟“地平线 2020 计划”支持，共有来自 11 个国家的 23 个顶尖的大学、科研院所、企业共同参加（见表 1），代表了目

表 1 MyToolBox 项目参与单位列表
Table 1 The involved organizations list of MyToolBox Project

序号	参与单位名称	参与单位中文名称	国家
1	University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna	维也纳自然资源和生命科学大学	奥地利
2	Wageningen Food Safety Research	瓦赫宁根食品安全研究中心	荷兰
3	International Association for Cereal Science and Technology	国际谷物科技协会	奥地利
4	Harper Adams University	哈珀亚当斯大学	英国
5	FoodLife International Ltd	食品生命国际公司	土耳其
6	BARILLA S.p.A.	百味来集团	意大利
7	Cranfield University	克兰菲尔德大学	英国
8	IRIS Technology Solutions S.L.	IRIS 数字工程公司	西班牙
9	University of Novi Sad	诺维萨德大学	塞尔维亚
10	HORTA SRL	HORTA 公司	意大利
11	Bundesinstitut für Risikobewertung	德国联邦风险评估研究所	德国
12	Wageningen University	瓦赫宁根大学	荷兰
13	Norwegian Institute of Bioeconomy Research	挪威生物经济研究所	挪威
14	Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences	中国农业科学院农产品加工研究所	中国
15	Biomin Holding GmbH	百奥明公司	奥地利
16	Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, P.R. China	国家粮食和物资储备局科学研究院	中国
17	Südzucker AG	苏扎克糖业公司	德国
18	Axeb Biotech S.L.	AXEB 生物技术公司	西班牙
19	Agro LV Limited	Agro-LV 公司	乌克兰
20	Tariş Figs Agricultural Sales Cooperatives Unions	TARIS 无花果联盟	土耳其
21	D.O.O. Agrocentrum Bečej	AGROCENTRUM 食品公司	塞尔维亚
22	Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences	中国农业科学院饲料研究所	中国
23	EVK DI Kerschhaggl GmbH	EVK DI Kerschhaggl 公司	奥地利

前世界真菌毒素防控最高水平的研究。项目基于收获前真菌毒素污染风险预警模型、收获后仓储安全参数实时监测技术、真菌毒素超标作物的安全转化利用等技术,通过对种植、收获、储藏加工及综合利用对食品和饲料全链条进行防控,减少因受真菌毒素污染而造成的巨大损失和资源浪费,实现资源的最大化利用。

MyToolBox 真菌毒素综合管理系统^[17]是基于“MyToolBox”项目研究成果建立的食品和饲料真菌毒素综合管理系统,该系统基于目前在真菌毒素污染方面的研究,提出了包括收获前、收获后、加工以及超标作物安全使用的整体解决方案(图 1)。分别介绍了作物在不同生产加工环节真菌毒素防控措施,并将其不同环节进行串联和结合,如收获前通过预测高污染风险的作物,除增强田间防控外,需要加强后期检测,并将高污染风险作物根据污染等级和用途单独存放,污染

严重的推荐进行生物乙醇的生产等工业用途。该系统有效的减少了农作物全链条的损失和浪费。本文对 MyToolBox 真菌毒素综合管理系统进行了整体介绍,并对其在中国应用提出了相关建议。

1 作物收获前田间真菌毒素防控

作物的在田间生长过程中很容易受到真菌毒素的污染,真菌通过土壤和叶片感染田间作物,从而引发真菌毒素的产生。研究表明,良好的田间的管理可以有效降低收获后作物真菌毒素污染水平^[18-20]。MyToolBox 系统对小麦、大麦、玉米、无花果和花生等作物,从种植管理、农药使用和收获管理等方面提出了防控建议,并建立风险预测模型,根据区域风险情况,针对性的提出改进措施,对真菌毒素田间污染进行全面的防控。

根据 MyToolBox 系统作物收获前的防控建议,为了降低作物真菌感染的风险,通过耕作和轮

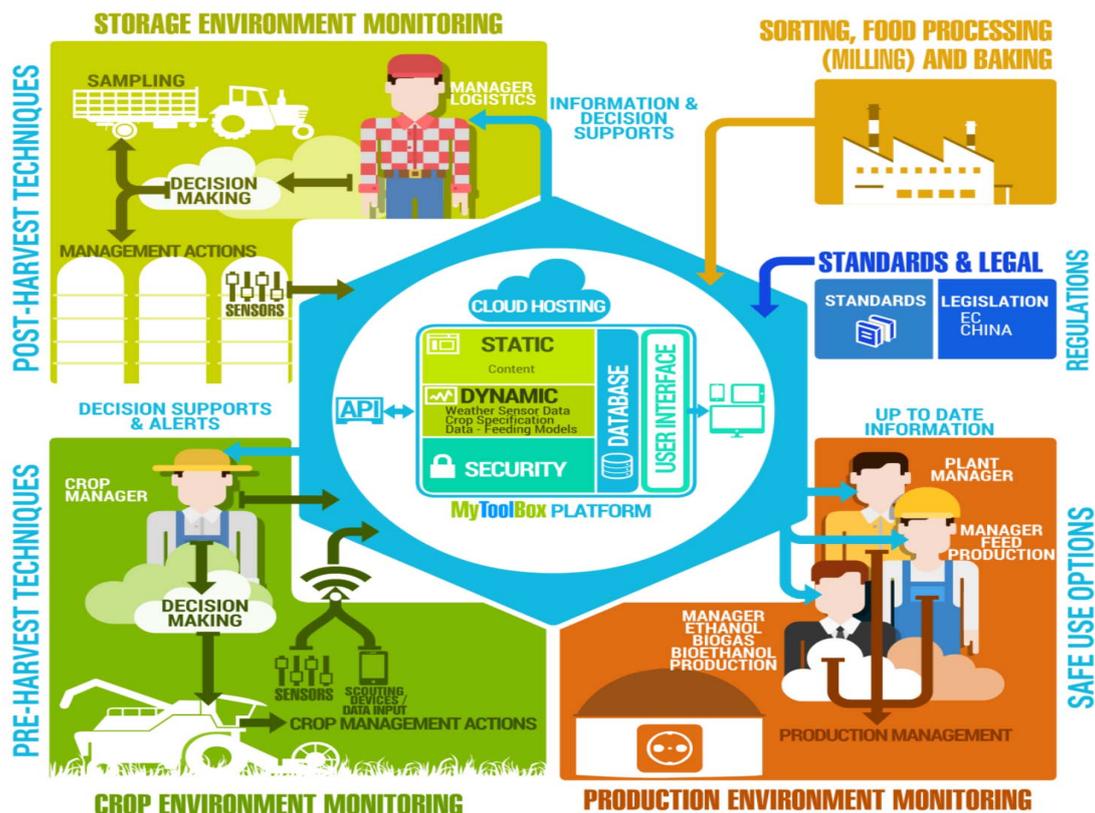


图 1 MyToolBox 真菌毒素综合管理系统工作原理图^[17]

Fig.1 Overview of MyToolBox integrated mycotoxin management system^[17]

注: MyToolBox platform: MyToolBox 平台; cloud hosting: 云端; static: 静态; dynamic: 动态; security: 安全访问; database: 数据库; user interface: 用户界面。Pre-harvest techniques: 收获前技术; Crop environment monitoring: 作物环境监测; decision supports & alerts: 措施建议和预警。post-harvest techniques: 收获后技术; Storage environment monitoring: 存储环境监测; information & decision supports: 信息和措施建议。Sorting, food processing (milling) and baking: 分拣、食品加工(研磨)和烘焙。Regulations: 相关法规; Standards & legal: 标准和规定。Safe use options: 安全使用建议; up to date information: 实时信息。

作可以有效降低作物种植土壤中的真菌水平^[18-19]。抗性品种的选用可以提高作物的环境适应能力,从而降低真菌感染植株的能力^[21],因此在高污染风险地区,有必要选育并种植高抗性的品种。此外,温度和湿度也是影响真菌产毒能力和水平的关键因素^[22-23],为了避免作物在生长期间的环境利于真菌产毒,可以通过降低种植密度来保证良好的通风,通过调整种植日期来避免扬花期、收获期等关键生长时期出现在雨季等利于真菌生长的时间窗口,根据天气情况适当调整收获时间,可以减少天气对成熟作物中真菌毒素产生的影响^[18]。

MyToolBox 系统在评估田间管理措施的基础上,提供了“情景分析”功能。通过“情景分析”可以查看不同的农业措施组合来估计小麦收获后被呕吐毒素污染的可能性,通过改变前茬作物、土壤耕种方式、小麦品种以及天气情况,可以看到作物收获后风险的变化情况,用户可以选择当前正在使用的农业措施,或者通过更改一种措施来估算呕吐毒素的变化,或者查看天气的影响情况。

此外,对于冬小麦、硬质小麦和大麦,MyToolBox 系统提出了呕吐毒素风险预测模型^[24],通过获得种植作物(大麦、硬质小麦、冬小麦)、前茬作物(谷物、其他农作物、蔬菜)、品种抗性水平(耐性、中等耐性、中度易感、易感)、翻耕方式(翻耕、少翻或者少耕、不翻耕)、种植区域(镰刀菌易感染风险等级:高、中、低)以及种植地点的经纬度和气象站,在扬花期前对收获后的呕吐毒素污染风险进行分类预测。模型通过种植地点经纬度确定分区情况,并结合气象站扬花期前 14 天至扬花期后 10 天的天气情况,统计平均温度、总降雨量和湿度>80%的小时数等气象因素、田间作物和管理信息等,将收获后的呕吐毒素污染风险评估为高、中、低 3 个等级。对于不同的风险级别,MyToolBox 系统提供了相应的对策,用以控制作物在之后生长过程中呕吐毒素的进一步产生以及收获后作物的合理化管理。

基于真菌毒素污染风险预测模型的预测结果,根据风险等级,推荐适时适量使用杀真菌剂和生物农药等。使用经批准的杀真菌剂在开花期前后进行喷洒可以有效降低真菌毒素的污染风

险^[25-26]。生物农药则主要指被证明确实有效的生物防治剂、植物提取物、植物兴奋剂和无机化学品等,如通过在作物上接种大量非产毒黄曲霉,可以有效降低成熟花生中黄曲霉毒素的含量^[27-30]。这种根据早期预测结果进行定向污染防控,不仅有效控制了高污染的发生,而且降低了防控成本,避免盲目使用杀真菌剂和生物农药导致的种植成本高、粮食中不必要的添加和社会资源的浪费。

对于存在污染风险的作物,除进行田间防控外,在收获后应尽快真菌毒素检测,并将受到真菌毒素污染的样品进行分类储藏,以避免感染未受污染的粮食。此外,对于具有污染风险的地块,系统在之后的作物种植中,提供了进一步的防控建议,如在该作物再次种植时,改变耕作方式,选择抗性品种等。

基于 MyToolBox 系统收获前的综合防控,作物从种植到收获,在真菌毒素防控中得到了全方位的指导,并获得种植田块的定制服务,从而减少粮食作物中真菌毒素污染的发生,对解决世界性的粮食污染具有长远贡献。

2 收获后仓储真菌毒素防控

作物收获后进入储藏过程中,由于作物水分过高和环境温度、湿度不当等,导致作物真菌毒素污染的情况时有发生^[31]。MyToolBox 系统从进入仓储前的准备、作物的接收要求和在仓储过程中的监测几个方面提出了系统性建议,从而避免由于仓储带来的真菌毒素污染。此外,MyToolBox 系统基于欧洲相关采样规范,提供了大量样品采样方案,用于进行官方或内部的检测,为储藏期间农作物质量安全监测提供了理论依据。

作物在储藏过程中环境的温度和湿度是影响真菌毒素污染发生的关键因素,因此在作物入仓前需要确保储藏仓保温、防雨,作物本身温度和湿度均在安全范围,如不满足要求,需要进行通风干燥或热风干燥使作物水分和环境湿度、温度降低至安全水平。此外,不完整的颗粒会增加真菌毒素的污染风险^[21,32],因此作物入仓前和储藏过程中需要确保粮食不受昆虫和螨虫、啮齿类动物及其粪便的破坏和侵染,并全过程对其进行观察记录,出现污染时可使用适当剂量的农药进行

处理。

对于存在真菌毒素污染的作物，需要及时分离和剔除，或进行分类储藏，避免污染低污染水平的作物。例如花生储藏前，进行拣选分级，剔除受污染的颗粒，可以有效减少后续储藏过程中真菌的来源，避免黄曲霉毒素污染大面积发生。

在储藏过程中，为了避免作物中真菌毒素的发生发展，可以利用温度、湿度和二氧化碳三合一传感器，定期对仓内的情况进行监测。项目组研究人员基于温度、湿度和二氧化碳指标，建立了仓内小麦、玉米和花生等作物真菌毒素实时预警模型^[33-34]，传感器的监测情况直接反应仓内真菌毒素的发生情况，并进行预警，使得第一时间采取相关措施，如通风、干燥等，从而避免污染的大面积发生。

基于 MyToolBox 系统的收获后综合防控，作物从接收、储藏至出仓过程中，真菌毒素得到了全面的监测。基于传感器的预警系统和相关措施，基本能够避免由于储藏不当导致真菌毒素的发生发展，该系统使仓储质量安全将变得更加可靠。

3 粮油食品和饲料的加工和综合利用

由于真菌毒素分布不均匀的特点，粮油食品和饲料在加工过程中，经过脱胚、去麸等工艺取得了作物籽粒的一部分后，真菌毒素有较大的变化。例如玉米麸皮、粉质和胚乳中毒素水平差别较大，脱胚工艺可能会导致黄曲霉毒素、呕吐毒素和玉米赤霉烯酮的增加，而玉米制作的饲料用粉主要包含粉状玉米皮（麸皮），胚芽和/或颗粒过小的面粉，因此以玉米为原料的饲料用粉的加工也会导致黄曲霉毒素、呕吐毒素、伏马毒素、赭曲霉毒素 A、玉米赤霉烯酮和 T-2 毒素等整体毒素水平增加^[35]。此外，加热、浸提等工艺中，真菌毒素可能存在降解及转移等现象，经过处理后的部分真菌毒素可能会降低^[36-37]。例如由于玉米赤霉烯酮的亲脂性，玉米油中玉米赤霉烯酮的含量可能较高^[38]。MyToolBox 系统在小麦的干磨、面包、面包干、意大利面、湿磨和饼干，大麦的饲料、食品、啤酒酿造，玉米的干磨、湿磨、饲料和生物乙醇等加工工艺中，提供了各环节真菌毒素的变化，为加工企业关注真菌毒素的变化提

供了理论依据，为加工工艺的选择提供了指导。

为了增加受到真菌毒素污染作物的利用率，减少损失和浪费，对于真菌毒素超标的小麦和玉米及其副产物，可以将其用于生物乙醇/酒精的生产^[39]，对此 MyToolBox 系统提供了相应的工艺流程，为资源的合理化利用提供了良好的建议。

目前饲料行业广泛使用的以小麦、大麦和玉米等加工得到干酒糟及其可溶物（Distillers Dried Grains with Solubles, DDGS），其真菌毒素污染种类多，水平高^[40-43]，在饲料业产生了很大的损失。MyToolBox 系统对其进行了关注，并在应用中建议加强监测，高度重视真菌毒素污染水平。

4 MyToolBox 系统在中国应用的相关建议

MyToolBox 真菌毒素综合管理系统首次将粮油食品和饲料生产各环节的建议结合起来，从农田至餐桌全链条进行真菌毒素污染防控，保障了粮油食品和饲料质量安全，在通过减少污染保障了人的身体健康的同时，提出了高污染粮食的合理利用方案，通过减少损失和浪费，实现了资源合理化利用。

该系统在收获前、储藏和加工等环节对真菌毒素的防控建议大部分适用于中国，为国内进行粮油食品和饲料真菌毒素防控提供了很好的基础和参考依据。在作物田间种植过程中，可以参考 MyToolBox 系统中的防控措施对田间作物进行适当的管理，以降低收获后作物中真菌毒素的污染风险；在储藏过程中，可以增加针对于真菌毒素的防控管理，尤其是温度、湿度、二氧化碳三合一传感器的使用，增强库存污染防控，以降低由于储藏导致的真菌毒素污染；在作物加工过程中，以系统提供的真菌毒素变化为指导，以减少由于加工不当引起的粮油食品和饲料中真菌毒素污染；此外，根据系统的建议，加快进行分类储藏，根据粮食的污染水平，按照不同用途进行分级分类，避免混合储藏导致污染范围扩大，污染粮食增加导致的浪费和损失，增加作物利用率。

MyToolBox 真菌毒素综合管理系统在中国开展广泛应用具有良好的基础，为了进一步扩大应用范围，适应中国国情，结合国内粮油食品和饲料生产、加工和储藏情况^[44]，系统需要进一步的

改进和优化。

根据国家统计局 2019 年统计数据,国内用于进行粮油食品和饲料加工的农作物为稻谷、玉米、小麦、花生、油菜籽和葵花籽,这些作物在生产、储藏和加工环节均容易受到真菌毒素污染,在真菌毒素综合防控中,增加稻谷、油菜籽和葵花籽的相关内容,可以更加全面的保障中国粮油食品和饲料真菌毒素安全。同样,由于饮食习惯不同,在不同国家的食品和饲料产品有一定差异,如小麦在欧洲主要制作面包、面包干、意大利面和饼干等,但在中国主要制品为不同用途的面粉及其制作的挂面和饺子皮等,加工过程中的真菌毒素防控同样有必要提出相关防控建议和措施。此外,MyToolBox 系统对作物收获前和储藏、加工等环节进行了详细的风险评估,并提出了防控建议,但在运输和流通环节由于处理不当带来的污染也不容忽视,如运输车辆运输前未进行清洁,导致不同批次交叉污染等。运输和流通环节防控的增加将使 MyToolBox 系统对粮油食品和饲料真菌毒素污染防控更加全面。

MyToolBox 系统除提供系统性的真菌毒素防控建议外,根据种植情况和地理位置等,可以对收获后作物中真菌毒素污染风险进行早期预测,提供针对性建议指导生产。但目前可以进行预测的地区只限于奥地利、荷兰、意大利等欧洲国家,即只有这些地区的预测模型,由于我国种植面积广阔,气候和环境差异较大,MyToolBox 系统现有的预测模型以及基于现有模型特征条件的改进模型均无法很好对国内作物收获后真菌毒素风险进行准确预测。因此,急需开发适合于中国的呕吐毒素风险预测模型,并基于中国的限量标准开展相关指导。此外,新型快速检测方法及自动化处理方法等前沿检测分析技术的整合将会使真菌毒素综合管理系统更加完善。

参考文献:

[1] BRYDEN W L. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: implications for animal productivity and feed security[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 201, 173(1/2): 134-158.

[2] ZAIN M E. Impact of mycotoxins on humans and animals[J]. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2011, 15(2): 129-144.

[3] WILD C P, GONG Y Y. Mycotoxins and human disease: a

largely ignored global health issue[J]. *Carcinogenesis*, 2010, 31(1): 71-82.

[4] REDDY K R N, SALLEH B, SAAD B, et al. An overview of mycotoxin contamination in foods and its implications for human health[J]. *Toxin Reviews*, 2010, 29(1): 3-26.

[5] Council for Agricultural Science and Technology CAST. *Mycotoxins: risks in plant, animal, and human systems*[M]. Iowa, USA: Council for Agricultural Science and Technology, 2003.

[6] Food safety and quality: mycotoxins[EB/OL]. [2012-04-16]. <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/food-safety-quality/topical-issues/mycotoxins/en/>

[7] European Commission (EC), 2015. *European Commission Decision*.

[8] Anonymous, 2013. EU: feed contaminated with aflatoxin. All About Feed, 11 March 2013 News. Available at: <http://tinyurl.com/z784mfh>.

[9] SANDA J, MILICA Z B, PRICA N, et al. The influence of climatic factors in Serbia on mycotoxin production[C]. *First International Symposium of Veterinary Medicine (ISVM2015) 'One Health-New Challenges'*, Novi Sad, Serbia, pp. 2015: 166-172.

[10] 张强. 我国食品安全存在 4 大问题[N]. *科技日报*, 2016-01-28(3).

ZHANG Q. Four major problems in video security in China[N]. *Science and Technology Daily*, 2016-01-28(3).

[11] 王伟, 邵兵, 朱江辉, 等. 中国谷物制品中重要镰刀菌毒素膳食暴露评估研究[J]. *卫生研究*, 2010, 39(6): 709-714.

WANG W, SHAO B, ZHU J H, et al. Dietary exposure assessment of some important Fusarium toxins in cereal-based products in China[J]. *Journal of Hygiene Research*. 2010, 39(6): 709-714.

[12] 马皎洁, 邵兵, 林肖惠, 等. 我国部分地区 2010 年产谷物及其制品中多组分真菌毒素污染状况研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2011(6): 481-488.

MA J J, SHAO B, LIN X H, et al. Study on the natural occurrence of multi-mycotoxin in cereal and cereal-based product samples collected from parts of China in 2010[J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*. 2011(6): 481-488.

[13] VAN EGMOND H P, SCHOTHORST R C, JONKER M A, et al. Regulations relating to mycotoxins in food[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2007, 389(1): 147-157.

[14] BATTILANI P. Recent advances in modeling the risk of mycotoxin contamination in crops [J]. *Current Opinion in Food Science*, 2016(11): 10-15.

[15] 李森, 刘宁晶, 蔡娣, 等. 粮食中脱氧雪腐镰刀菌烯醇风险预警研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2020(9): 179-186.

LI S, LIU N J, CAI D, et al. Recent advances in prediction of the risk of deoxynivalenol contamination in grain[J]. *Journal of the*

- Chinese Cereals and Oils Association. 2020(9): 179-186.
- [16] SCHMIDT H M, PARRA R, MAGAN, N, et al. Modelling the relationship between environmental factors, transcriptional genes and deoxynivalenol mycotoxin production by strains of two *Fusarium* species[J]. *Journal of the Royal Society Interface*, 2011(8): 117-126.
- [17] R KRASKA, M D NIJS, O MCNERNEY, et al. Safe food and feed through an integrated toolbox for mycotoxin management: the MyToolBox approach[J]. *World Mycotoxin Journal*, 2016(4): 487-495.
- [18] EIBLMEIER P, LEPSCHY J. Risk evaluation of deoxynivalenol levels in bavarian wheat from survey data [J]. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2007(2): 69-75.
- [19] LANDSCHOOT S, WAEGEMAN W, AUDENAERT K, et al. A field-specific web tool for the prediction of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in Belgium[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013(3): 140-148.
- [20] WEST J S, HOLDGATE S, TOWNSEND J A, et al. Impacts of changing climate and agronomic factors on *Fusarium* ear blight of wheat in the UK[J]. *Fungal Ecology*, 2012(1): 53-61.
- [21] FRONMENT A, GAUTIER P, NUSSBAUMER A, et al. Forecast of mycotoxins levels in soft wheat, durum wheat and maize before harvesting with Qualimètre[J]. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 2011(6): 277-281.
- [22] SCHAAFSMA A W, HOOKER D C. Climatic models to predict occurrence of *Fusarium* toxins in wheat and maize[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2007(2): 116-125.
- [23] VAN DER FELLS, KLERX H J, LIU C, et al. Modelling climate change impacts on mycotoxin contamination[J]. *World Mycotoxin Journal*, 2016(5): 717-726.
- [24] VAN DER FELLS, KLERX H J, BURGERS S L G E, et al. wheat in the Netherlands[J]. *Food Additives and Contaminants Part A-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2010(5): 636-643.
- [25] FORRER H R, MUSA T, SCHWAB F, et al. *Fusarium* Head Blight control and prevention of mycotoxin contamination in wheat with botanicals and tannic acid[J]. *Toxins*, 2014(6): 830-849.
- [26] PAUL P A, LIPPS P E, HERSHMAN D E, et al. Efficacy of triazole-based fungicides for *Fusarium* Head Blight and deoxynivalenol control in wheat: a multivariate meta-analysis[J]. *Phytopathology*, 2008(98): 999-1011.
- [27] ATEHNKENG J, OJIAMBO P S, IKOTUN T, et al. Evaluation of atoxigenic isolates of *Aspergillus flavus* as potential biocontrol agents for aflatoxin in maize[J]. *Food Additives and Contaminants Part A*, 2008(25): 1264-1271.
- [28] BANDYOPADHYAY R, ORTEGA B A, AKANDE A, et al. Biological control of aflatoxins in Africa: current status and potential challenges in the face of climate change[J]. *World Mycotoxin Journal*, 2016(5): 771-789.
- [29] BROWN R, COTTY P J, CLEVELAND T E, et al. Reduction in aflatoxin content of maize by atoxigenic strains of *Aspergillus flavus*[J]. *Journal of Food Protection*, 1991(54): 623-626.
- [30] PROBST C, BANDYOPADHYAY R, PRICE L E, et al. Identification of atoxigenic *Aspergillus flavus* isolates to reduce aflatoxin contamination of maize in Kenya[J]. *Plant Disease*, 2011(95): 212-218.
- [31] MAGAN N, MEDINA A, ALDRED D, et al. Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre- and postharvest[J]. *Plant Pathology*, 2011(1): 150-163.
- [32] NESIC K, MILICEVIC D, NESIC V, et al. Mycotoxins as one of the foodborne risks most susceptible to climatic change[J]. *Procedia Food Science*, 2015(5): 207-210.
- [33] K MYLONA, N MAGAN. *Fusarium langsethiae*: Storage environment influences dry matter losses and T2 and HT-2 toxin contamination of oats[J]. *Journal of Stored Products Research*, 2011(47): 321-327.
- [34] E GARCIA-CELA, E KIAITSI, N MAGAN, et al. Influence of storage environment on maize grain: CO₂ production, dry matter losses and aflatoxins contamination[J]. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2019(14): 1-11.
- [35] DELCOUR J A, ROUAU X, COURTIN C M, et al. Technologies for enhanced exploitation of the healthpromoting potential of cereals[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2012(20): 1-9.
- [36] BERGAMINI E, CATELLANI D, DALL'ASTA C, et al. Fate of *Fusarium* mycotoxins in the cereal product supply chain: the deoxynivalenol (DON) case within industrial bread-making technology[J]. *Food Additives and Contaminants*, 2010(27): 677-687.
- [37] GENEROTTI S, CIRLINI M, MALACHOVA A, et al. Deoxynivalenol & deoxynivalenol-3-glucoside mitigation through bakery production strategies: effective experimental design within industrial rusk making technology[J]. *Toxins*, 2015(7): 2773-2790.
- [38] 吴宇, 叶金, 张冰, 等. 稳定同位素稀释-超高效液相色谱-串联质谱法快速测定植物油中 16 种真菌毒素[J]. *分析化学*. 2018(6): 975-984.
- WU Y, YE J, ZHANG B, et al. A fast analytical approach for determination of 16 kinds of mycotoxins in vegetable oils using stable isotope dilution and ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2018(6): 975-984.
- [39] KLOSOWSKI G, MIKULSKI D, GRAJEWSKI J, et al. The influence of raw material contamination with mycotoxins on alcoholic fermentation indicators[J]. *Bioresource Technology*, 2010(101): 3174-3152.
- [40] RODRIGUES I, CHIN L J, et al. A comprehensive survey on the

occurrence of mycotoxins in maize dried distillers' grain and solubles sourced worldwide[J]. World Mycotoxin Journal, 2012(5): 83-88.

[41] SCHAAFSMA A W, LIMAY-RIOS V, PAUL D E, et al. Mycotoxins in fuel ethanol co-products derived from maize: a mass balance for deoxynivalenol[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009(89): 157-1580.

[42] ZACHARIASOVA M, DZUMAN Z, VEPRIKOVA Z, et al. Occurrence of multiple mycotoxins in European feeding stuffs, assessment of dietary intake by farm animals. Animal[J]. Feed Science and Technology, 2014(193): 124-140.

[43] ZHANG Y, CAUPERT J. Survey of mycotoxins in U.S. distiller's dried grains with solubles from 2009 to 2011[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012(60): 539-543.

[44] 杜政, 朱之光, 王松雪, 等. 粮食真菌毒素监测预警与处理技术发展现状与趋势[J]. 食品科学, 2012(33): 66-74.

DU Z, ZHU Z G, WANG S X, et al. Recent trends and current status of monitoring, early warning and treatment technologies for mycotoxin contamination in cereal grains[J]. Food science, 2012(33): 66-74. 完

备注: 本文的彩色图表详见本期 PC32, 也可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。

· 信息窗 ·

联合国粮农组织启动实施“一国一品”全球行动

10月26日, 罗马—联合国粮食及农业组织(粮农组织)着手实施全新行动计划, 帮助各国推广最具特色的农产品, 向农业粮食体系转型迈出重要一步。

粮农组织总干事屈冬玉出席“一国一品: 特色农产品绿色发展全球行动”(全球行动)指导委员会首次会议并表示, “我们需要以具体行动为抓手, 高效、有效地推进工作”。“一国一品”全球行动于上月正式启动, 旨在帮助各国推广国内驰名、供应充分但是利用不足的农业粮食产品, 挖掘其潜力, 打入区域性和国际性市场。这一类农产品被定义为特色农产品—SAPs。



“一国一品”全球行动启动仪式于9月7日举行。©粮农组织特色农产品具备因地理位置、种植方法和文化遗产所形成

的独特品质和特质, 可为保障粮食安全和健康膳食做出突出贡献, 支持农民生计和经济增长, 同时保护环境和生物多样性。

“一国一品”全球行动将聚焦五大关键领域:

为现有和新出现的全球性挑战寻找对策方案;

优化农业粮食生产体系;

高效保护、利用生物多样性与自然资源;

最大程度地减少化学投入品使用、减轻农业粮食体系对环境的不良影响;

利用传统知识、文化与经验推动转型, 建设着更高效、更包容、更具韧性且更可持续的农业粮食体系。

特色农产品绿色发展全球行动将覆盖三大农业生态区域—热区、旱区与山区, 以及四大主题领域—生产、储存、加工与销售。

屈总干事表示, 首要任务是农作物产品价值链的绿色发展—粮食作物、经济作物、园艺作物和林业产品, 其次是畜牧和渔业产品。

全球行动指导委员会由屈总干事亲自担任主席, 成员则包括来自粮农组织管理层、关键技术部门与粮农组织区域办事处的代表。指导委员会旨在协调、统筹、监督相关行动, 并就试点国家、特色农产品、实施模式以及融资机制等议题进行决策。

(来源: 联合国粮农组织微信公众号, 2021年10月27日)