

## 综述

## 茶叶中真菌与真菌毒素污染风险状况与防控研究进展

周海燕, 武爱波, 刘娜

(中国科学院大学, 中国科学院上海营养与健康研究所 中国科学院营养代谢与食品安全重点实验室, 上海 200031)

**摘要:** 茶叶因具有独特的风味以及对人体有益的生物活性物质, 深受国内外消费者青睐。茶叶作为生产链较长的特殊经济农作物, 其生产过程中涉及的微生物背景仍不清晰, 存在着潜在的有害微生物及真菌毒素污染。目前调查显示饮茶导致的真菌毒素暴露风险极低, 但茶叶中真菌及真菌毒素污染的监控以及相关有害次级代谢产物的溯源问题亟待解决。本文综述了国内外有关茶叶中真菌及真菌毒素污染状况与防控相关研究, 分析探讨了茶叶中真菌毒素的潜在污染风险, 以期对茶叶中真菌毒素污染评估和防控提供参考依据, 促进茶叶良好的质量管理和卫生控制体系的建立。

**关键词:** 茶叶; 真菌; 真菌毒素; 风险状况; 防控

中图分类号: R155

文献标识码: A

文章编号: 1004-8456(2022)02-0390-09

DOI: 10.13590/j.cjfh.2022.02.032

**Research progress on risk profile and control of fungal and mycotoxin contamination in tea**

ZHOU Haiyan, WU Aibo, LIU Na

(Chinese Academy of Sciences Key Laboratory of Nutrition, Metabolism and Food Safety, Shanghai Institute of Nutrition and Health, Chinese Academy of Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China)

**Abstract:** Tea is popular at home and abroad for its unique flavor and bioactive substances that are beneficial to human health. However, as a special economic crop with a long production chain, the background of microorganisms involved in the production process of tea is still unclear, and potentially harmful microorganisms and mycotoxins are present in tea. Nowadays, the investigation shows that the risk of mycotoxin exposure caused by tea drinking is very low, but the monitoring of fungi and mycotoxin contamination in tea and the source of related harmful secondary metabolites need to be solved urgently. In this paper, the research on the contamination situation, prevention and control of fungi and mycotoxin in tea is reviewed. The potential contamination risk of mycotoxin in tea is analyzed and discussed in order to provide reference for the assessment and control of mycotoxin contamination in tea and promote the establishment of good tea quality management and hygiene control systems.

**Key words:** Tea; fungi; mycotoxins; risk profile; prevention

饮茶受到世界上很多国家欢迎, 我国是世界上最大的茶叶生产国, 茶园面积、茶叶种类、茶叶产量和消费量均为世界第一。茶文化是我国传统文化的重要组成部分, 更是联系中国与“一带一路”沿线国家和地区、实现友好合作的重要载体。真菌广泛

分布于食品、农产品以及环境中, 产毒菌在适宜产毒条件下, 会产生危害人和动物的次级有毒代谢产物。有数据统计发现 25% 的食品和农产品会受到真菌毒素污染<sup>[1]</sup>。长期以来我们对茶叶风味品质及安全非常重视, 我国和大部分国家都对食品中主要的真菌毒素做了限量规定<sup>[2]</sup>。由于茶叶生产链较长并且涉及种植、采摘、初制与精制、再加工、包装、贮藏、运输等多个环节, 其在茶园种植期间、后期生产加工以及贮藏运输过程中均可能受到有害产毒真菌的污染, 尤其对于难以控制的传统渥堆发酵环节, 产毒菌在适宜的环境下就可能繁殖产毒, 从而导致真菌毒素不断累积<sup>[3-4]</sup>。

收稿日期: 2021-09-03

基金项目: 国家重点研发计划-茶叶产品质量安全控制技术与健康功能评价应用示范项目(2018YFC1604403)

作者简介: 周海燕 女 博士研究生 研究方向为食品安全与真菌毒素方面的研究 E-mail: zhouhaiyan2018@sibs.ac.cn

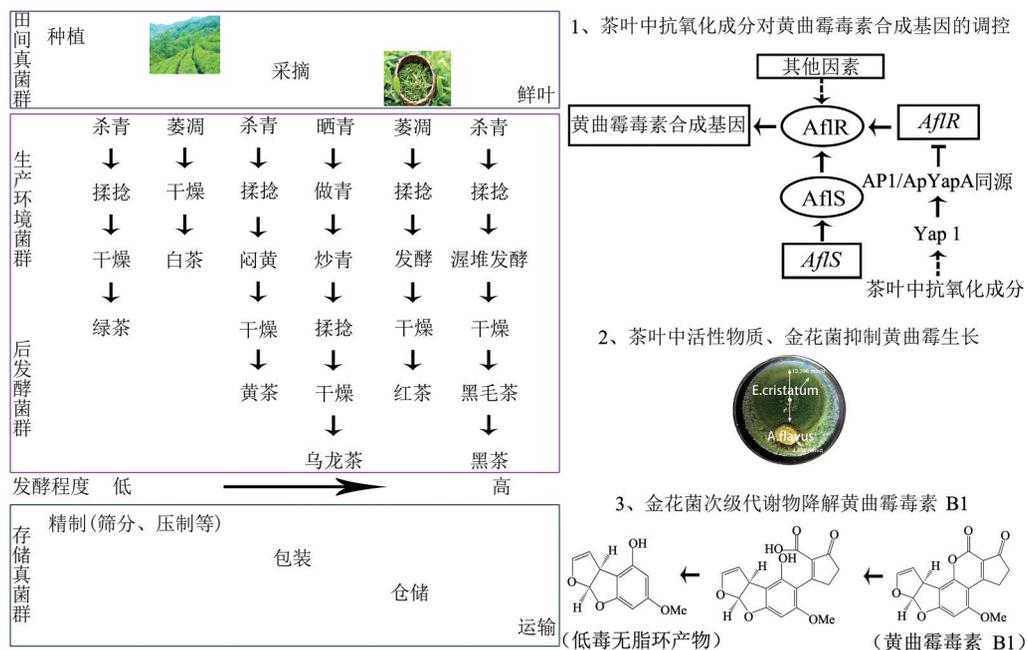
通信作者: 刘娜 女 副研究员 研究方向为食品安全与真菌毒素方面的研究 E-mail: liuna@sibs.ac.cn

近年来,随着国际贸易壁垒升级,茶叶主要进口地区和国家对茶叶中微生物指标和真菌毒素含量要求日趋严格,一些国家对黑茶、普洱茶和红茶等要求进行黄曲霉毒素以及霉菌的检测<sup>[4]</sup>。目前已有不少研究在茶叶中检出真菌毒素,不同茶叶样品中检出的真菌毒素种类及含量也有所差异,同时,评估数据表明通过饮茶引起的真菌毒素暴露风险极低<sup>[5-6]</sup>,但值得注意的是,由于长期暴露评估数据不足,茶叶中真菌毒素暴露评估的研究报道比较有限,而且评估结果常与检测方法、茶叶样品种类等多个因素相关。虽然茶叶本身含有具有抑制微生物活性的物质且加工过程中会经历高温处理,但考虑到茶叶在生产加工过程中多个环节均有被真菌毒素污染的风险,茶叶中真菌毒素污染的监控、溯源与暴露评估应该被持续关注。本研究旨在综述绿茶、白茶、黄茶、青茶/乌龙茶、红茶和黑茶六大类茶叶中真菌和真菌毒素污染风险及现有防治方法,

并对茶叶安全性进行初步探讨,以期为保障茶叶品质安全提供新思路。

### 1 我国茶叶分类

目前我国茶叶种类很多,根据不同加工工艺及发酵程度所形成的色泽与滋味差异,主要分为绿茶、白茶、黄茶、青茶/乌龙茶、红茶和黑茶六大类(图1)。其中绿茶属于非发酵茶,包括西湖龙井、信阳毛尖、碧螺春等;白茶、黄茶是中国茶类中的特殊珍品,传统黄茶的特色关键在于其特有的闷堆渥黄工艺,它们均属于轻微发酵茶,主产地为浙江、福建,包括寿眉白茶、福鼎白茶、霍山黄芽等;青茶/乌龙茶属于半发酵茶,包括东方美人(白毫乌龙)、铁观音、大红袍等;红茶属于完全发酵茶,包括祁门红茶、武夷山红茶、宜昌红茶等;黑茶属于后发酵茶,包括安化黑茶、云南普洱茶、四川康砖茶、湖南茯砖茶、广西六堡茶、青砖茶、藏茶等<sup>[7]</sup>。



注: *aflR/aflS* 参与调控黄曲霉毒素合成的基因; *AflR/AflS* 激活调节黄曲霉毒素生物合成基因簇的表达; *Yap 1* 为抗氧化系统转录因子; *ApyapA* 同源基因是真菌抗氧化反应的一部分; *AP1* (*ApYapA* 同源基因) 结合位点位于调控基因 *aflR* 的启动子区。

图1 六大类茶叶加工过程中涉及相关真菌菌群和预防控制概况<sup>[47-51]</sup>

Figure 1 Overview of mycoflora, prevention and control in the processing of six types of tea<sup>[47-51]</sup>

## 2 各类茶叶中真菌及真菌毒素污染状况及风险分析

### 2.1 黑茶中真菌及真菌毒素污染状况及风险分析

黑茶是我国传统发酵茶的典范,其关键工艺技术为渥堆发酵。茶叶经揉捻后不解块,直接保温保湿堆放,在后发酵过程中有大量的微生物参与茶叶内含成分的转化,它们也是促成黑茶独特品质及健康功效因素之一<sup>[8-9]</sup>。国内外针对普洱茶的研究居

多,普洱生茶在经过自然发酵或人为渥堆发酵成熟形成了普洱熟茶,其在后发酵过程中存在真菌及真菌毒素污染风险<sup>[10]</sup>。早年间国内外学者从普洱茶中分离鉴定出土曲霉 (*Aspergillus terreus*)、黑曲霉 (*Aspergillus niger*) 和酵母属 (*saccharomyces*)、酸曲霉 (*Aspergillus acidus*) 等<sup>[11-13]</sup>。赵振军和刘勤晋等<sup>[14]</sup>对60份普洱茶调查发现菌落范围为  $1.6 \times 10^3 \sim 1.16 \times 10^5 \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ ,以曲霉属 (*Aspergillus*) 和酵母为主,其中

黑曲霉是普洱茶渥堆过程中的主要优势菌,在第一次翻堆达到峰值( $3 \times 10^5$  CFU·g<sup>-1</sup>),最终为 $3.6 \times 10^4$  CFU·g<sup>-1</sup>。澳大利亚研究团队对36份市售云南普洱茶调查发现菌落数范围为 $1.0 \times 10^1 \sim 2.6 \times 10^6$  CFU·g<sup>-1</sup>,最为常见的菌种是酸曲霉、烟曲霉(*Aspergillus fumigatus*)等<sup>[15]</sup>。REINHOLDS等<sup>[16-17]</sup>对20份普洱茶样品进行霉菌计数发现平均菌落数为 $7.56 \times 10^1$  CFU·g<sup>-1</sup>,其中曲霉属、青霉属(*Penicillium*)的出现频率较高,但含黑曲霉、灰绿曲霉(*Aspergillus glaucus*)、杂色曲霉(*Aspergillus versicolor*)的样本较其他茶少。此外,研究较多的另一种黑茶为茯砖茶,其主要优势菌为冠突散囊菌(又称金花菌, *Eurotium cristatum*),其分泌的各种酶对茯砖茶特殊品质的形成具有重要的作用。近年来,借助高通量测序及组学等新兴技术,微生物在普洱茶发酵过程中的作用以及黑茶中真菌种群多样性等逐渐被揭示。研究人员利用高通量测序技术和定量多元代谢物技术分析发现鲜叶、熟茶及生茶的真菌群落呈

显著变化,高达390个OTUs(Operational Taxonomic Units)<sup>[18]</sup>。而胥伟等<sup>[19-20]</sup>通过模拟黑毛茶仓储进行促霉培养并且利用Illumina Miseq高通量测序技术研究发现霉变黑毛茶中曲霉属真菌相对丰度值最大,高达98%以上。与此同时,胡帅等<sup>[21]</sup>利用Miseq测序技术分析并发现了青砖茶渥堆过程中真菌有78个OUTs,也发现曲霉属是青砖茶渥堆过程中的优势菌,相对丰度范围为38.1%~75.1%。赵明等<sup>[22]</sup>也通过真菌内部转录间隔序列的代谢编码、宏蛋白质组学以及代谢组学技术,系统地分析并发现普洱茶发酵过程中的曲霉属占主要优势;发酵过程中的微生物群落能产生参与多糖降解的碳水化合物活性酶,并参与水解、氧化、修改或降解酚类化合物,从而改变了代谢产物的含量和普洱茶的品质。与此同时,马燕等<sup>[23]</sup>利用蛋白以及代谢组学揭示了黑曲霉、溜曲霉(*Aspergillus tamarii*)以及烟曲霉在发酵过程中能改变茶叶中代谢产物浓度及酶系。以黑茶为例,其潜在的真菌及次级代谢产物汇总如表1。

表1 黑茶在生产过程中可能存在的真菌及真菌毒素汇总表

Table 1 Summary of potential fungi and mycotoxins in the production of dark tea

初制 <sup>[13-14,17,20]</sup>	精制 <sup>[20]</sup>	贮存 <sup>[20]</sup>	毒素 <sup>[10,24-25,28-29]</sup>
曲霉属		曲霉属	
黑曲霉( <i>Aspergillus niger</i> )、阿姆斯特丹散囊菌( <i>Eurotium amstelodami</i> )、塔宾曲霉( <i>Aspergillus tubingensis</i> )、臭曲霉( <i>Aspergillus foetidus</i> )、灰绿曲霉( <i>Aspergillus glaucus</i> )、炭黑曲霉( <i>Aspergillus carbonarius</i> )、帚状曲霉( <i>Aspergillus penicillioides</i> )、泡盛曲霉( <i>Aspergillus awamori</i> )、烟曲霉( <i>Aspergillus fumigatus</i> )、米曲霉( <i>Aspergillus oryzae</i> )、黄曲霉( <i>Aspergillus flavus</i> )、杂色曲霉( <i>Aspergillus versicolor</i> )、构巢曲霉( <i>Aspergillus nidulans</i> )、聚多曲霉( <i>Aspergillus sydowii</i> )、土曲霉( <i>Aspergillus terreus</i> )、海枣曲霉( <i>Aspergillus phoenicis</i> )	曲霉属 黑曲霉 ( <i>Aspergillus niger</i> ) 阿姆斯特丹散囊菌( <i>Eurotium amstelodami</i> ) 冠突散囊菌 ( <i>Eurotium cristatum</i> ) 谢瓦散囊菌 ( <i>Eurotium chevalieri</i> ) 肋状散囊菌 ( <i>Eurotium constiforme</i> )	黑曲霉( <i>Aspergillus niger</i> )、散囊菌属( <i>Eurotium</i> )、赭曲霉( <i>Aspergillus ochraceus</i> )、塔宾曲霉( <i>Aspergillus tubingensis</i> )、烟曲霉( <i>Aspergillus fumigatus</i> )、溜曲霉( <i>Aspergillus tamarii</i> )、米曲霉( <i>Aspergillus oryzae</i> )、聚多曲霉( <i>Aspergillus sydowii</i> ) 青霉属 草酸青霉( <i>Penicillium oxalicum</i> )、产黄青霉( <i>Penicillium chrysogenum</i> )、光孢青霉( <i>Penicillium glabrum</i> )、萎地青霉( <i>Penicillium roqueforti</i> )、巴恩正青霉( <i>Penicillium baen</i> )、橘青霉( <i>Penicillium citrinum</i> )、鲜红青霉( <i>Penicillium chermesinum</i> )、斑点青霉( <i>Penicillium meleagrinum</i> ) 白僵菌属( <i>Beauveria</i> )	OTA、STC、AFs、OTB、ZEN、DON、FBs、ALT、CIT(Citrinin)、PAT(Patulin)、PR-Toxin(Penicillium roqueforti toxin) ENNs(Enniatins) BEA(Beauvericin)
青霉属			
埃莫森蓝状菌( <i>Talaromyces emersonii</i> )			
产黄青霉( <i>Penicillium chrysogenum</i> )			
斜卧青霉( <i>Penicillium decumbens</i> )			
草酸青霉( <i>Penicillium oxalicum</i> )			
橘青霉( <i>Penicillium citrinum</i> )			
镰刀菌属( <i>Fusarium</i> )			
链格孢菌( <i>Alternaria alternata</i> )			

针对我国黑茶中真菌毒素污染的现状调查。刘妍等<sup>[24]</sup>利用超高效液相色谱质谱方法调查发现发酵黑茶中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> (Aflatoxin B<sub>1</sub>, AFB<sub>1</sub>)、赭曲霉毒素 A (Ochratoxin A, OTA)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (Deoxynivalenol, DON) 被不同程度地检出。胡琳等<sup>[25]</sup>利用液相色谱串联质谱方法调查174份普洱茶样品,真菌毒素阳性检出率分别为: DON (30.63%)、伏马毒素 B<sub>1</sub> (Fumonisin B<sub>1</sub>,

FB<sub>1</sub>, 55.17%)、伏马毒素 B<sub>2</sub> (Fumonisin B<sub>2</sub>, FB<sub>2</sub>, 6.9%)、伏马毒素 B<sub>3</sub> (Fumonisin B<sub>3</sub>, FB<sub>3</sub>, 6.9%)。而姚婷、王鹭等<sup>[26-27]</sup>调查发现市售茶叶中真菌毒素含量均未超过现有相关食品安全标准。胥伟等<sup>[28]</sup>利用色谱-质谱技术检测了高湿条件下霉变黑毛茶,发现均未检出 AFB<sub>1</sub>、OTA、玉米赤霉烯酮 (Zearalenone, ZEN)。BOGDANOVA等<sup>[29]</sup>利用新建立的二维液相色谱串联高分辨质谱方法对商业

20份普洱茶进行真菌毒素检测,结果显示真菌毒素阳性检出率及含量范围分别为: DON类(100%, 1 154~2 313  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 黄曲霉毒素(Aflatoxins, AFs, 35%~45%, 0.87~2.60  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), 杂色曲霉素(Sterigmatocystin, STC)、T-2毒素(T-2 mycotoxin, T-2)、ZEN、OTA、赭曲霉毒素B(Ochratoxin B, OTB)、链格孢毒素(Altenuene, ALT)等(>25%, 1.7~23.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。而研究人员先后利用新开发的LC-MS/MS方法对黑茶样本调查发现均未检出AFB<sub>1</sub>且不存在黄曲霉毒素暴露风险<sup>[30-32]</sup>;此外,对中国昆明、中国普洱和蒙古国乌兰巴托地区的不同年龄和性别人群进行了真菌毒素的膳食暴露和健康风险评估,结果发现真菌毒素均未对饮茶人群构成风险<sup>[33]</sup>。

## 2.2 红茶中真菌及真菌毒素污染状况及风险分析

红茶是产量较大的发酵茶类别,其含有的多酚类物质发生酶促氧化反应或美拉德反应而形成了其独特风味,即使红茶发酵过程中的品质形成并没有微生物参与,但国内外对红茶的真菌及真菌毒素污染仍有不少研究报道。MOGENSEN等<sup>[12]</sup>发现红茶中主要分离并鉴定出的酸曲霉不产OTA和FBs(Fumonisin)。马燕等<sup>[34]</sup>指出MARTINS、MONBALIU等调查发现红茶受到不同程度FB<sub>1</sub>(76~280  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )污染,也有研究团队利用高效液相色谱法调查发现40份红茶样中27.5%被AFs污染,其中AFB<sub>1</sub>平均含量为10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , AFs为12.07  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[35]</sup>。CARRATURO等<sup>[36]</sup>检测16份红茶,发现OTA平均含量为6.26±7.13  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。SEDOVA等<sup>[37]</sup>统计了红茶中真菌毒素阳性样本检出率以及含量范围: AFs(3%~40%; 0~10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), OTA(5%~24%; 0~250  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ); FBs(0~100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。PAKSHIR等<sup>[38]</sup>发现60份样本中分离真菌主要为黑曲霉,并利用HPLC方法筛查发现红茶样本中AFs、OTA阳性检出率分别为40%(<10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 6.6%(>10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。REINHOLDS等<sup>[17]</sup>对63份红茶样品进行霉菌计数,发现平均菌落水平为 $5.10 \times 10^2$  CFU/g; 63份样品中57份含有黑曲霉、36份含有灰绿曲霉、14份含有黄曲霉、7份含有杂色曲霉;最终发现曲霉属检出比例最高(95%),其次是青霉属(25%)和横梗霉属(*Lichtheimia*)(13%),而其他真菌属均小于5%;进一步对红茶样本真菌毒素调查发现DON及其乙酰化产物(39%, 26.5~428  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、OTA(6%, 1.7~7.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、ALT(4%, 0.8~1.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、AFB<sub>1</sub>(9%, 0.39~3.45  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )均被检出;与此同时,该研究以茶叶中毒素最大迁移率进行饮茶暴露评估并发现饮用红茶而暴露接触真菌毒素中毒的概率很低。

## 2.3 绿茶中真菌及真菌毒素污染状况及风险分析

绿茶具有抗氧化特性和抗真菌特性,在茶叶出口中一直占据主导地位。其加工工艺主要包括以下工序:鲜叶-杀青-揉捻-干燥,相比于其他茶叶,绿茶生产制作工艺较快,其在加工过程中受到的污染应该较少<sup>[37]</sup>。虽然绿茶生产链较短,但其在六类茶中水分活度最大,故在生产初制、精制以及后期包装、仓储、运输过程中真菌及真菌毒素的污染评估也不可忽视。研究人员在绿茶生产、仓储环境中分离出黑曲霉、塔宾曲霉,可见其在种植、初制、精制以及后期包装、仓储、运输过程中可能存在着污染风险<sup>[4]</sup>。PALLARÉS等<sup>[39]</sup>利用分散液液微萃取法提取真菌毒素并利用液相色谱串联质谱法检测出44份茶样中黄曲霉毒素B<sub>2</sub>(Aflatoxin B<sub>2</sub>, AFB<sub>2</sub>)、15-乙酰基化脱氧雪腐镰刀菌烯醇(15-Acetyl Deoxynivalenol, 15-Ac DON)含量范围分别为14.4~32.2和60.5~61.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,而进一步风险评估研究表明,人们很少通过茶饮料消费暴露接触真菌毒素。CLADIÈRE等<sup>[3]</sup>也开发了茶叶中多种污染物的质谱检测方法并调查了市售散装绿茶和冲泡茶,发现69%的真菌毒素污染可被量化,但绝大部分污染水平都低于相应的欧洲法规食品限量标准。CARRATURO等<sup>[36]</sup>分离16份市售绿茶真菌,发现黑曲霉、塔宾曲霉出现频率较高,且OTA阳性检出率为82.5%(7.22±6.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。而REINHOLDS等<sup>[17,40]</sup>对14种本市售绿茶进行霉菌总量计数,指出大多来自我国加工的绿茶产品中真菌总量( $1.09 \times 10^3$  CFU/g)超过了当地商业茶霉菌含量最大限量标准( $5 \times 10^2$  CFU/g),研究还表明在八种常见真菌属中,绿茶中曲霉属(81%)占比最高,其他真菌属均小于5%;43份绿茶样品中检出29份含有黑曲霉、24份含有灰绿曲霉、2份含有黄曲霉、6份含有杂色曲霉;同时绿茶中AFB<sub>1</sub>(0.46~2.99  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、STC(1.2~1.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、OTA(1.1~3.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、DON(97.1~859  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、3-乙酰基化脱氧雪腐镰刀菌烯醇(3-Acetyl Deoxynivalenol, 3-AcDON, 213~1 792  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、T-2(5.58  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、HT-2毒素(HT-2 toxin, HT-2, 8.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、ALT(1.1~3.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )均被检出,但以茶叶中真菌毒素最大迁移率进行饮茶暴露评估时发现;急性摄入茶叶导致真菌毒素中毒的概率很低。PAKSHIR等<sup>[38]</sup>利用高效液相色谱法调查发现绿茶中OTA阳性检出率为6.7%(<10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。MANNANI等<sup>[41]</sup>利用HPLC和LC-MS/MS方法评估了市售的129份草本绿茶中的AFs水平,发现58.9%样本受到了AFs污染,其中阳性样本中含量超过5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 占比9.3%。目前针对绿茶的大多数研究主要集中在其抗氧化等保护机制,而对绿茶中检出的真菌及真菌毒素溯源相关研究比较有限。

## 2.4 白茶、黄茶和青茶中真菌及真菌毒素污染状况及风险分析

白茶、黄茶和青茶在销量和影响力上远不及绿茶、红茶及黑茶。从现有调查研究来看,几乎很少专门针对它们进行微生物评价以及相关的真菌毒素污染评估。最近研究人员通过改变茶汤 pH 来消除基质效应,减少了横向流动试纸条检测 AFB<sub>1</sub> 的假阳性结果<sup>[42]</sup>,但该方法还未用于检测白茶及其他样品中,因此在检测技术上仍需要大量研究来推动茶叶质量安全检测方法的前进。刘文静等利用超高效液相色谱串联质谱法均未在 53 份陈年老白茶中检出真菌毒素<sup>[43]</sup>。值得一提的是乌龙茶的味道和颜色介于绿茶和红茶之间,近年来深受大众青睐。日本学者 TANAKA 等<sup>[44]</sup>利用荧光染色和自动计数系统发现了乌龙茶饮料中有枝孢属 (*Cladosporium*) 和黑曲霉属。王鹭等利用新方法检测出部分乌龙茶中 AFB<sub>2</sub> 的含量为 5.76 μg/kg<sup>[26]</sup>。REINHOLDS 等对乌龙茶进行传统霉菌计数发现其平均菌落数为 6.86 × 10 CFU/g,出现频率最高的是曲霉属(100%),其中 7 份乌龙茶中灰绿曲霉(100%)、黑曲霉(71.42%)出现频率较高,但在乌龙茶中并未检出真菌毒素<sup>[17]</sup>。目前白茶、黄茶和青茶中真菌及真菌毒素污染数据相对较少,其安全性评估还需更多研究。

## 3 茶叶中真菌及真菌毒素污染防控

目前关于控制茶叶中潜在真菌及真菌毒素污染相关研究较少,主要集中在茶叶本身活性物质以及相关优势菌(图 1)。研究表明茶叶水提物中的某些生物活性物质在高浓度下可以抑制黄曲霉产毒,其中槲皮素和没食子酸较儿茶素类茶多酚的抑制产毒活性高<sup>[7, 45]</sup>,同时发现其可能通过激活抗氧化系统转录因子 Yap 1,而调控基因 *aflR* 的启动子区可能存在的 API(ApYapA 同源)结合位点<sup>[46]</sup>,进而诱导下调产毒基因 *AflR* 和 *AflS* 的表达从而抑制黄曲霉毒素的产生<sup>[47]</sup>。茶叶基质成分具有很强的特殊性和复杂性,富含咖啡碱、茶色素、多酚类等生物活性物质。研究表明槲皮素能逆转真菌毒素处理后的细胞关键代谢物水平,抵消细胞暴露于真菌毒素的有害影响<sup>[48]</sup>。李亚莉等<sup>[49]</sup>将外源产毒黄曲霉接种于普洱茶中培养并观察该菌产毒能力,发现受黄曲霉污染的普洱茶在室温及高温高湿条件下均不产生 AFs。RAMESHRAD 等<sup>[50]</sup>也发现了绿茶及其主要化合物因其具有抗氧化性、清除自由基、调节炎症反应、抗凋亡、螯合性能,可以解毒天然和化学毒素。目前研究报道多集中在茶叶活性物质对

AFs 的污染控制,而对其他潜在真菌毒素的控制还没有相关报道。近日研究人员发现了金花菌能够抑制黄曲霉的生长且其次级代谢的多种抗真菌物质能将 AFB<sub>1</sub> 降解为低毒的无酯环产物<sup>[51]</sup>。涂青等报道称乳酸菌、酵母、枯草芽孢杆菌、米曲霉以及木霉菌等不断被应用于生物防控菌<sup>[5]</sup>,而茶叶中存在的优势菌(黑曲霉、酵母等)几乎没有被用于控制茶叶中潜在真菌及真菌毒素污染以及相关研究。此外,研究人员也发现了不同地区的茯砖茶的金花菌为不同菌种,并且不同季节的发花微生物也存在着一定个体差异<sup>[52]</sup>;考虑到黑曲霉科菌种鉴定局限性及不同菌种的差异<sup>[53]</sup>。因此,不同茶叶中真菌及真菌毒素潜在污染规律以及防控还需进一步探索,尤其对于发酵茶类别,筛选优势不产毒菌株发酵,建立安全的发酵体系尤为重要。同时探明茶叶基质中活性成分对真菌以及真菌毒素污染防控机制以及利用茶叶优势菌开展更多的潜在真菌及真菌毒素污染防控研究是未来努力的方向。

## 4 茶叶安全性评估可能存在的问题与建议

潜在的真菌及真菌毒素污染作为影响茶叶质量安全不可忽略的因素,已成为茶叶质控体系建立的难点。国内外学者针对各类茶叶展开了大量微生物背景、真菌毒素检测以及相关的风险暴露评估研究,揭示了部分茶叶中优势微生物,评估了饮茶真菌毒素暴露风险。

现有国内外调查研究多集中在发酵程度较高的茶类别,目前调查显示真菌毒素被不同程度地检出,但是饮茶暴露接触真菌毒素风险很低。KISELEVA 等<sup>[54]</sup>初步调查也发现茶叶中真菌毒素暴露风险较其他药用植物或草药茶等低。显然,茶叶中真菌及真菌毒素污染调查存在差异性,一方面可能是由于研究偏向性导致发酵程度较低的茶类缺少相关真菌及真菌毒素污染数据,可能造成发酵程度低的茶叶中真菌毒素检出率较低。另一方面受检测样本自身的品类及地域、真菌毒素定量检测评估方法等因素影响。研究人员也发现茶叶初始水分活度,接种温度以及发酵和储藏过程中温度、水分活度均能影响有害菌株的产毒能力<sup>[55]</sup>。由于不同品种茶叶的生产方式、产业自动化程度和规模化程度等差异,应该开展不同品类的污染调查,同时真菌毒素污染评价应指明茶叶品类、来源地以及规范化命名。加之,茶叶中真菌毒素检测方法标准仍然是个缺口,目前研究人员开发新方法的提取、净化等前处理技术以及方法检出限、灵敏度、适用范围等存在差异,前期样本检测数据的稳定性及饮茶

暴露评估的可靠性仍然有待进一步验证。茶叶中真菌毒素含量的准确性关乎饮茶真菌毒素暴露评估的真实性。因此,针对茶叶中真菌毒素污染研究的检测方法应在保证准确、灵敏及操作规范前提下尽可能统一;包括实验室分析环节也需注意质量控制,避免分析环节失误干扰检测结果。同时,暴露评估不仅要考虑各地饮用方式、习惯及摄入量差异,还应考虑茶叶本身的真菌毒素浓度、稳定性及迁移率等因素影响,以保证准确真实地反映其真菌毒素暴露水平。

综上所述,正视茶叶中潜在的真菌及真菌毒素污染,对于生产加工链较长的茶叶产品,降低茶叶真菌毒素污染风险和安全隐患是一项长期且复杂的工作,未来仍需要更多研究投入。今后应更多地开展评估茶产品、加工和贮藏过程污染风险研究;尤其对于后发酵茶,筛选优势不产毒菌株发酵并加强规范生产、建立安全的发酵体系,以保证参与发酵微生物及发酵程度稳定及安全性;与此同时,对不同茶叶中真菌及真菌毒素的长期监测是系统评估其安全性的关键。全面监控与评估茶叶中真菌及真菌毒素发生规律及茶饮暴露风险;加强开展茶叶中潜在真菌及真菌毒素污染的溯源以及防控研究;争取建立良好的质量管理和卫生控制体系以保障我国茶叶质量。

## 参考文献

- [ 1 ] WU A B, LIU N, YU D Z, et al. Overview of analysis, risk assessment and control of *Fusarium* mycotoxins in contaminated foods[J]. China Science Foundation: English edition, 2018, 1 (26): 67-74.
- [ 2 ] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量: GB 2761—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National Food Safety Standard Limits of Mycotoxins in Foods: GB 2761—2017 [S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [ 3 ] CLADIERE M, DELAPORTE G, LE ROUX E, et al. Multi-class analysis for simultaneous determination of pesticides, mycotoxins, process-induced toxicants and packaging contaminants in tea[J]. Food Chemistry, 2018, 242: 113-121.
- [ 4 ] 朱金国, 莫瑾, 谭建锡, 等. 出口茶叶生产加工中有害微生物危害分析[J]. 现代农业科技, 2014, 2: 304-307.
- ZHU J G, MO J, TAN J X, et al. Analyses of harmful microorganisms' hazard in production and processing of export tea[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014, 2: 304-307.
- [ 5 ] 涂青, 邓秀娟, 伍贤学, 等. 普洱茶黄曲霉毒素污染风险及其抑制研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10 (13): 4180-4186.
- TU Q, DENG X J, WU X X, et al. Research progress on the risk of aflatoxins contamination and its inhibition in Pu-erh tea [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(13): 4180-4186.
- [ 6 ] 邓秀娟, 涂青, 伍贤学, 等. 茶叶中赭曲霉毒素 A 安全性风险研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 405-412.
- DENG X J, TU Q, WU X X, et al. Research progress on the safety risk of ochratoxin A in tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(12): 405-412.
- [ 7 ] 张浩. 茶叶发酵过程中的多酚变化及其对黄曲霉产毒的抑制效应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014: 66-90.
- ZHANG H. Polyphenols changes in tea fermentation and the inhibitory effect on aflatoxin production [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2014: 66-90.
- [ 8 ] 王茹茹, 肖孟超, 李大祥, 等. 黑茶品质特征及其健康功效研究进展[J]. 茶叶科学, 2018, 38(2): 113-124.
- WANG R R, XIAO M C, LI D X, et al. Recent advance on quality characteristics and health effects of dark tea[J]. Journal of Tea Science, 2018, 38(2): 113-124.
- [ 9 ] ZHOU B X, MA C Q, REN X Y, et al. Correlation analysis between filamentous fungi and chemical compositions in a pu-erh type tea after a long-term storage [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8 (5): 2501-2511.
- [ 10 ] 姜依何, 胥伟, 朱旗. 黑茶真菌污染研究进展及探讨[J]. 茶叶科学, 2018, 38(3): 227-236.
- JIANG Y H, XU W, ZHU Q. Research progress and discussion on fungal contamination of dark tea[J]. Journal of Tea Science, 2018, 38(3): 227-236.
- [ 11 ] HU S, HE C, LI Y C, et al. Changes of fungal community and non-volatile metabolites during pile-fermentation of dark green tea[J]. Food Research International, 2021, 147: 110472.
- [ 12 ] MOGENSEN J M, VARGA J, THRANE U, et al. *Aspergillus acidus* from Pu-erh tea and black tea does not produce ochratoxin A and fumonisin B<sub>2</sub>[J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 132 (2-3): 141-144.
- [ 13 ] ZHAO Z J, TONG H R, ZHOU L, et al. Fungal colonization of pu-erh tea in Yunnan [J]. Journal of Food Safety, 2010, 30 (4): 769-784.
- [ 14 ] 赵振军, 刘勤晋. 普洱茶中真菌研究进展[J]. 茶叶科学, 2014, 34(3): 205-212.
- ZHAO Z J, LIU Q J. Advances on the research of fungi in Pu-erh tea[J]. Journal of Tea Science, 2014, 34(3): 205-212.
- [ 15 ] HAAS D, PFEIFER B, REITERICH C, et al. Identification and quantification of fungi and mycotoxins from Pu-erh tea [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 166 (2) : 316-322.
- [ 16 ] REINHOLDS I, BOGDANOVA E, PUGAJEVA I, et al. Mycotoxins in herbal teas marketed in Latvia and dietary exposure assessment[J]. Food Additives & Contaminants: Part B, 2019, 12 (3): 199-208.
- [ 17 ] REINHOLDS I, BOGDANOVA E, PUGAJEVA I, et al. Determination of fungi and multi-class mycotoxins in camelia sinensis and herbal teas and dietary exposure assessment[J]. Toxins, 2020, 12 (9): 555.

- [18] ZHANG Y J, SKAAR I, SULYOK M, et al. The microbiome and metabolites in fermented Pu-erh tea as revealed by high-throughput sequencing and quantitative multiplex metabolite analysis[J]. PLoS One, 2016, 11(6): e0157847.
- [19] 胥伟, 姜依何, 吴丹, 等. 高通量测序研究霉变黑毛茶的真菌多样性[J]. 茶叶科学, 2017, 37(5): 483-492.  
XU W, JIANG Y H, WU D, et al. RNA sequencing analysis of fungi community diversity in mildew raw dark tea[J]. Journal of Tea Science, 2017, 37(5): 483-492.
- [20] 胥伟, 吴丹, 姜依何, 等. 黑茶微生物研究: 从群落组成到安全分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(9): 3541-3552.  
XU W, WU D, JIANG Y H, et al. Microbial research on black tea: The community composition and food safety analysis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(9): 3541-3552.
- [21] 胡帅. 基于微生物组学及代谢组学技术的青砖茶渥堆过程品质形成机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019: 11-26.  
HU S. Study on quality formation mechanism of Qing Zhuan tea pile fermentation based on microbiome and metabolomics [D]. Wuhan, China: Huazhong Agricultural University, 2019: 11-26.
- [22] ZHAO M, SU X Q, NIAN B, et al. Integrated meta-omics approaches to understand the microbiome of spontaneous fermentation of traditional Chinese Pu-erh tea [J]. mSystems, 2019, 4(6): e00680-19.
- [23] MA Y, LING T J, SU X Q, et al. Integrated proteomics and metabolomics analysis of tea leaves fermented by *Aspergillus niger*, *Aspergillus tamarii* and *Aspergillus fumigatus* [J]. Food Chemistry, 2021, 334: 127560.
- [24] 刘妍, 陈坚, 谭贵良, 等. QuEChERS-超高效液相色谱串联质谱法测定发酵黑茶中的10种真菌毒素[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 280-288.  
LIU Y, CHEN J, TAN G L, et al. Determination of ten mycotoxins in fermented dark tea by QuEChERS-ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(7): 280-288.
- [25] 胡琳, 师真, 赵丽, 等. 液相色谱-串联质谱法同时测定普洱茶中16种真菌毒素[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(10): 1700-1708.  
HU L, SHI Z, ZHAO L, et al. Simultaneous detection and analysis of 16 kinds of mycotoxins in Pu-erh tea [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2019, 31(10): 1700-1708.
- [26] 王鹭, 杨骅, 谢国祥, 等. 普洱茶、红茶、绿茶中真菌毒素的检测[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(24): 4801-4806.  
WANG L, YANG H, XIE G X, et al. Determination of mycotoxins in pu-erh tea, black tea, and green tea samples[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2017, 42(24): 4801-4806.
- [27] 姚婷, 王丹, 李双, 等. 超高效液相色谱-四极杆-飞行时间质谱法快速检测发酵黑茶中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>[J]. 分析测试学报, 2017, 36(11): 1346-1351.  
YAO T, WANG D, LI S, et al. Rapid detection of aflatoxin B<sub>1</sub> in fermented dark tea by ultraperformance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2017, 36(11): 1346-1351.
- [28] 胥伟, 姜依何, 田双红, 等. 基于色谱-质谱技术分析高湿条件下霉变黑毛茶品质成分变化及真菌毒素残留[J]. 食品科学, 2019, 40(20): 293-298.  
XU W, JIANG Y H, TIAN S H, et al. Analysis of quality components and mycotoxins residues in mildewed raw dark tea with high humidity by liquid chromatography and mass spectrometry[J]. Food Science, 2019, 40(20): 293-298.
- [29] BOGDANOVA E, PUGAJEVA I, REINHOLDS I, et al. Two-dimensional liquid chromatography- high resolution mass spectrometry method for simultaneous monitoring of 70 regulated and emerging mycotoxins in Pu-erh tea [J]. Journal of Chromatography A, 2020, 1622: 461145.
- [30] DONG X Q, ZOU B, ZHAO X Y, et al. Rapid qualitative and quantitative analysis of aflatoxin B<sub>1</sub> in Pu-erh tea by liquid chromatography-isotope dilution tandem mass spectrometry coupled with the QuEChERS purification method[J]. Analytical Methods, 2018, 10(39): 4776-4783.
- [31] YE Z L, CUI P, WANG Y, et al. Simultaneous determination of four aflatoxins in dark tea by multifunctional purification column and immunoaffinity column coupled to liquid chromatography tandem mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(41): 11481-11488.
- [32] ZHOU H Y, LIU N, YAN Z, et al. Development and validation of the one-step purification method coupled to LC-MS/MS for simultaneous determination of four aflatoxins in fermented tea [J]. Food Chemistry, 2021, 354: 129497.
- [33] YE Z L, WANG X, FU R Y, et al. Determination of six groups of mycotoxins in Chinese dark tea and the associated risk assessment[J]. Environmental Pollution, 2020, 261: 114180.
- [34] 马燕, 张冬莲, 苏小琴, 等. 茶叶中真菌毒素污染的国内外研究概况[J]. 中国食品卫生杂志, 2014, 26(6): 627-631.  
MA Y, ZHANG D L, SU X Q, et al. Review of the studies on the contamination of mycotoxins in tea [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2014, 26(6): 627-631.
- [35] POURETEDAL Z, MAZAHARI M. Aflatoxins in black tea in Iran[J]. Food Additives & Contaminants: Part B, 2013, 6(2): 127-129.
- [36] Carraturo F, De Castro O, Troisi J, et al. Comparative assessment of the quality of commercial black and green tea using microbiology analyses [J]. BMC Microbiology, 2018, 18(1): 4.
- [37] SEDOVA I, KISELEVA M, TUTELYAN V. Mycotoxins in tea: Occurrence, methods of determination and risk evaluation [J]. Toxins, 2018, 10(11): 444.
- [38] PAKSHIR K, MIRSHEKARI Z, NOURAEI H, et al. Mycotoxins detection and fungal contamination in black and green tea by HPLC-based method [J]. Journal of Toxicology, 2020, 2020: 2456210.
- [39] PALLARÉS N, FONT G, MAÑES J, et al. Multimycotoxin LC-MS/MS analysis in tea beverages after dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(47): 10282-10289.
- [40] TOMAN J, MALIR F, OSTRY V, et al. Transfer of ochratoxin

- A from raw black tea to tea infusions prepared according to the Turkish tradition [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98 (1): 261-265.
- [41] MANNANI N, TABARANI A, ABDENNEBI E H, et al. Assessment of aflatoxin levels in herbal green tea available on the Moroccan market[J]. *Food Control*, 2020, 108: 106882.
- [42] CHEN W, CAI F, WU Q, et al. Prediction, evaluation, confirmation, and elimination of matrix effects for lateral flow test strip based rapid and on-site detection of aflatoxin B<sub>1</sub> in tea soups[J]. *Food Chemistry*, 2020, 328: 127081.
- [43] 刘文静, 黄彪, 傅建炜, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定陈年老茶中16种真菌毒素残留[J]. *食品科学*, 2021, 42(2): 299-305.
- LIU W J, HUANG B, FU J W, et al. Simultaneous determination of 16 mycotoxin residues in aged tea by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Science*, 2021, 42(2): 299-305.
- [44] TANAKA K, YAMAGUCHI N, BABA T, et al. Rapid enumeration of low numbers of moulds in tea based drinks using an automated system [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2011, 145 (1): 365-369.
- [45] 吴清华. 茶叶中抑制黄曲霉毒素产生的组分及相关特性研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013: 28-37.
- WU Q H. Study on components of inhibiting production of aflatoxin in tea and related characteristics [D]. Yangling, China: Northwest Agriculture & Forestry University, 2013: 28-37.
- [46] REVERBERI M, ZJALIC S, RICELLIA, et al. Modulation of antioxidant defense in *Aspergillus parasiticus* is involved in aflatoxin biosynthesis: a role for the ApyapA gene [J]. *Eukaryotic Cell*, 2008, 7 (6): 988-1000.
- [47] MO H Z, ZHANG H, WU Q H, et al. Inhibitory effects of tea extract on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* [J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2013, 56 (6): 462-466.
- [48] YANG Y X, YU S, JIA B X, et al. Metabolomic profiling reveals similar cytotoxic effects and protective functions of quercetin during deoxynivalenol- and 15-acetyl deoxynivalenol-induced cell apoptosis [J]. *Toxicology in Vitro*, 2020, 66: 104838.
- [49] 李亚莉, 邢倩倩, 涂青, 等. 外源接种黄曲霉污染普洱茶安全性研究[J]. *茶叶科学*, 2017, 37(5): 513-522.
- LI Y L, XING Q Q, TU Q, et al. Study on the safety of Pu-erh tea contaminated by exogenous *Aspergillus flavus* [J]. *Journal of Tea Science*, 2017, 37(5): 513-522.
- [50] RAMESHRAD M, RAZAVI B M, HOSSEINZADEH H. Protective effects of green tea and its main constituents against natural and chemical toxins: A comprehensive review [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2017, 100: 115-137.
- [51] ZHAO Q N, QIU Y, WANG X, et al. Inhibitory effects of *Eurotium cristatum* on growth and aflatoxin B<sub>1</sub> biosynthesis in *Aspergillus flavus* [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 11: 921.
- [52] 赵仁亮, 谭吉慧, 卢秦华, 等. 茯砖茶发花微生物生物学特性研究[J]. *茶叶科学*, 2016, 36(2): 160-168.
- ZHAO R L, TAN J H, LU Q H, et al. Biological characterization of fungi involved in fu brick tea fermentation [J]. *Journal of Tea Science*, 2016, 36(2): 160-168.
- [53] FRISVAD J C, MOLLER L L H, LARSEN T O, et al. Safety of the fungal workhorses of industrial biotechnology: Update on the mycotoxin and secondary metabolite potential of *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, and *Trichoderma reesei* [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018, 102 (22): 9481-9515.
- [54] KISELEVA M G, CHALYY Z A, SEDOVA I B, et al. Studying the contamination of tea and herbal infusions with mycotoxins (Message 2) [J]. *Health Risk Analysis*, 2020: 38-51.
- [55] GUO W L, HAO M M, CHEN Q J, et al. Citrinin produced using strains of *Penicillium citrinum* from Liupao tea [J]. *Food Bioscience*, 2019, 28: 183-191.

## 《中国食品卫生杂志》2021年征稿征订启事

《中国食品卫生杂志》创刊于1989年,由中华人民共和国国家卫生健康委员会主管,中华预防医学会、中国卫生信息与健康医疗大数据学会共同主办,刊号:ISSN 1004-8456、CN 11-3156/R,邮发代号:82-450,双月刊,国内公开发行人。本刊是2008、2011、2017版中文核心期刊,中国科学引文数据库核心刊(C刊),中国科技核心期刊,中国精品科技期刊。中国知网(CNKI)全文收录。2020年版影响因子1.553,在预防医学领域影响力指数排名第8(8/86)。曾连续多年获得中华预防医学会优秀期刊一等奖。

**刊登范围:**食品卫生领域的科研方法及成果,检验检测技术(包括化学分析技术、微生物检验技术、毒理学方法),有毒有害物质的监测、评估、标准的研究,监督管理措施及方法,应用营养等。

**主要栏目:**专家述评、论著、研究报告、实验技术与方法、监督管理、调查研究、食品安全标准、风险监测、风险评估、应用营养、食物中毒、综述及国际标准动态。

**刊发周期:**审稿通过后一般在2个月左右刊出。对具有创新性的优秀论文开通绿色通道,加急审稿、优先发表。

### 欢迎投稿、欢迎订阅。

投稿网址:<http://www.zgspws.com>

订 阅:2021年《中国食品卫生杂志》。每期定价40元,全年240元。

订阅方式可以通过以下:

- 1、杂志官方网站订阅(详情见官网 [www.zgspws.com](http://www.zgspws.com)、可咨询购买过刊)。
- 2、通过邮局订阅,邮发代号82-450。
- 3、通过杂志淘宝店,微信公众号线上购买(详情请扫描以下二维码关注)。

地 址:北京市海淀区紫竹院南路17号院3号楼102室

《中国食品卫生杂志》编辑部

电 话:010-68707221 邮政编码:100048 E-mail:[spws462@163.com](mailto:spws462@163.com)



杂志公众号



杂志淘宝店



杂志微店