

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250303003

引用格式: 王权帅, 孙卫明. 北京市怀柔区板栗冷库贮藏过程中真菌毒素污染风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(14): 17–23.

WANG QS, SUN WM. Study on the risk assessments of mycotoxins during cold storage of *Castanea mollissima* in Huairou District, Beijing [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(14): 17–23. (in Chinese with English abstract).

# 北京市怀柔区板栗冷库贮藏过程中真菌毒素 污染风险评估

王权帅\*, 孙卫明

(北京市怀柔区疾病预防控制中心, 北京 101400)

**摘要:** **目的** 评估原产北京市怀柔区的板栗样品在冷库贮藏期间真菌毒素的污染对北京市消费者的膳食暴露风险。**方法** 分别从怀柔区产量最高的 4 个乡镇采集板栗样本, 在冷库中贮藏 1 年, 每 1 个月抽样 1 次, 分别对 21 种真菌毒素含量进行测定。结合 2002 年北京市居民膳食消费调查数据, 分别使用点估计法、概率法和多种真菌毒素的累积风险评估建模方法评估不同性别食用人群的急、慢性膳食暴露风险。**结果** 部分板栗样本的交链孢酚和交链孢酚单甲醚每日估计摄入量高于  $2.5 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 所有样本在整个贮藏期间的赭霉素和交链孢菌酮酸每日估计摄入量均没有超过  $1500 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 雪腐镰刀菌烯醇、伏马菌素 B<sub>1</sub>、伏马菌素总量和玉米赤霉烯酮的每日估计摄入量/每日耐受摄入量均小于 100。杂色曲霉毒素采用限量阈值 (margin of exposure, MOE) 进行分析, 其结果大于 10000。板栗样品真菌毒素共污染累积暴露风险评估, 部分样本在贮藏到 10 个月左右时, 其 MOE 低于 100。**结论** 所有品种的板栗样本贮藏 9 个月, 真菌毒素对消费者无明显风险, 消费者可以放心食用。板栗贮藏到末期同时检出多种真菌毒素, 可能会对人体产生健康风险, 为进一步明确其风险, 需要更多的毒理学数据。

**关键词:** 真菌毒素; 板栗; 冷库贮藏; 风险评估

## Study on the risk assessments of mycotoxins during cold storage of *Castanea mollissima* in Huairou District, Beijing

WANG Quan-Shuai\*, SUN Wei-Ming

(Beijing Huairou District Center for Diseases Control and Prevention, Beijing 101400, China)

**ABSTRACT: Objective** To assess the dietary exposure risk of mycotoxins for Beijing consumers, based on the mycotoxins contamination data during the cold storage period of *Castanea mollissima* which harvested in Huairou District, Beijing. **Methods** *Castanea mollissima* samples were collected from the 4 highest yielding townships in Huairou District. Samples were stored in a cold storage for 1 year and sampled once a month to determine the content of 21 kinds of fungal toxins. Based on the 2002 Beijing residents' dietary consumption survey data, point estimation method, probability method and cumulative risk assessment modeling method of multiple

收稿日期: 2025-03-03

基金项目: 北京市怀柔区科技计划项目(SHFZ 2020-1)

第一作者/\*通信作者: 王权帅(1985—), 男, 硕士, 主管检验师, 主要研究方向为食品检验。E-mail: wqslunwen@126.com

fungal toxins were used to evaluate the acute and chronic dietary exposure risks of different genders of consumers.

**Results** The estimated daily intake levels of alternariol and alternariol monomethyl ether in some *Castanea mollissima* samples were higher than  $2.5 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ . The estimated daily intake levels of tentoxin and tenuzonic acid in all samples during the entire storage period did not exceed  $1500 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ . The estimated daily intake/tolerable daily intake of nivalenol, fumonisin B<sub>1</sub>, total fumonisin and zearalenone were all less than 100. The margin of exposure (MOE) was used to analyze the sterigmatocystin, and the result was greater than 10000. The 2 kinds of different chronic effects were analyzed for ochratoxin A. The cumulative risk assessment of mycotoxins in *Castanea mollissima* samples showed that some samples had MOE below 100 after storage for about 10 months.

**Conclusion** All varieties of *Castanea mollissima* samples are no significant risk of mycotoxins to consumers after stored for 9 months in cold storage, and consumers can safely eat them. But multiple mycotoxins are detected simultaneously during the late stage of storage, which may pose health risks to humans. In order to clarify these health risks further, more toxicological data is needed.

**KEY WORDS:** mycotoxins; *Castanea mollissima*; cold storage; risk assessment

## 0 引言

板栗(*Castanea mollissima*)在我国种植历史悠久,是原产于我国的一种经济作物<sup>[1]</sup>。其果肉营养丰富、口味甜美,深受广大消费者的喜爱。北京市怀柔区地处燕山山脉南麓,气候条件和地理条件十分适合种植板栗,因此有了“中国板栗之乡”的美誉<sup>[2]</sup>。

随着板栗产业的不断发展,不论是家庭糖炒还是企业深加工,都对板栗品质的要求越来越高,这就对板栗的采后贮藏技术提出了更高的要求。如果贮藏条件不适宜,不仅会导致板栗的品质下降,还有可能会导致板栗污染真菌并产生真菌毒素等次级代谢产物<sup>[3-4]</sup>,目前从文献报道中已知能污染镰刀菌属(*Fusarium*)、青霉属(*Penicillium*)、曲霉属(*Aspergillus*)和链格孢属(*Alternaria*)等真菌<sup>[5-7]</sup>,这些产毒真菌会在板栗贮藏过程中产生黄曲霉毒素、伏马菌素、单端孢霉烯族真菌毒素、赭曲霉毒素和杂色曲霉毒素等真菌毒素,会对人体产生多种急性和慢性损伤,严重的可能会导致人体免疫抑制、神经毒性、和致畸毒性等,影响板栗的食用安全。目前常用的板栗保鲜方法有沙藏法、低温冷库保藏法、气调贮藏法、臭氧贮藏法和辐照贮藏法<sup>[8-13]</sup>等,其中以冷库保藏食用最为广泛。目前通过低温与湿度、氧气和二氧化碳浓度的调节等方式相结合,可以让板栗在冷库中的保鲜时间大大延长。

食品安全风险评估,指在特定条件下暴露于风险源时对环境对人体健康产生不良影响事件发生的可能性评估,是风险分析的重要组成部分,针对真菌毒素的风险评估越来越受到国际社会的学术界的关注<sup>[14]</sup>,食品添加剂与污染物联合专家委员会近些年根据各个国家和地区提供的真菌毒素的污染数据,对黄曲霉毒素、赭曲霉毒素 A 等真菌毒素进行了持续的评估<sup>[15]</sup>。欧盟委员会(European Commission, EC)也成立了专门的机构对真菌毒素的危害进行风险评估,目前已对人类食物和动物饲料中危险最大

的真菌毒素引入了最大允许限量<sup>[16]</sup>。我国食品安全风险评估工作起步较晚,2007年才组建了农产品质量安全风险评估专家委员会,2011年成立了国家食品安全风险评估中心,目前已针对多种真菌毒素进行了暴露人体健康危害的风险评估,为制订真菌毒素限量标准提供了理论依据<sup>[17]</sup>。暴露评估是风险评估的关键与核心,真菌毒素暴露评估方法主要有决定性风险评估(deterministic approach, DA)方法和概率性风险评估(probabilistic approach, PA)方法。通过 DA 方法计算的真菌毒素每日耐受摄入量(tolerable daily intake, TDI),能方便全球各国家和地区进行相互比对,通过 PA 方法计算的结果可用于多种样品基质中真菌毒素风险评估研究<sup>[18-19]</sup>。目前针对坚果中真菌毒素的风险评估较少<sup>[20-21]</sup>,特别是针对板栗中真菌毒素的风险评估还鲜有报道。本研究通过分析北京市怀柔区板栗样本在 1 年的贮藏期中 21 种真菌毒素的污染状况,结合北京市区人群食品消费量数据开展急性和慢性膳食暴露评估。旨在评估怀柔区板栗产品中真菌毒素污染风险,从源头风险点进行监控把关,为怀柔板栗产业的政府决策、食品安全风险评估及预防提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试样材料

选取怀柔区产的板栗为试样,品种按早熟期、中熟期和晚熟期分别选取,早熟期的品种为 3113 (*Castanea mollissima* ‘Yanshanzaofeng’),中熟期的品种为怀九(*Castanea mollissima* ‘Huajiu’)和怀黄(*Castanea mollissima* ‘Huaihuang’),晚熟期品种为燕红(*Castanea mollissima* ‘Yanshanhongli’)。原生板栗品种为花花。板栗采样地点选取怀柔区板栗产量最大的 4 个镇,渤海镇、九渡河镇、雁栖镇和怀北镇。从板栗成熟开始采摘并贮藏于北京老栗树聚源德种植专业合作社板栗贮藏专用冷库中,贮存期为 1 年。冷库贮藏环境温度为  $-1 \sim -3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 60%左右。

## 1.2 主要仪器设备

LCMS-8050 超高效液相色谱-三重四极杆串联质谱仪(日本岛津公司); Waters BEH C<sub>18</sub> (2.1 mm×150 mm, 1.7 μm)(美国 Waters 公司); BSA623S-CW 千分之一电子天平(德国 Sartorius 公司); VORTEX-5 调速振荡器(海门其林贝尔仪器制造有限公司); Centrifuge 5810R 高速低温离心机(德国 Sigma 公司)。

## 1.3 主要材料与试剂

乙腈、甲醇、甲酸(色谱纯, 北京迪马科技有限公司); 21 种真菌毒素标准品均购自罗马实验室检测服务(无锡)有限公司, 分别为黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> (aflatoxin B<sub>1</sub>, AFB<sub>1</sub>, 2.04 μg/mL)、黄曲霉毒素 B<sub>2</sub> (aflatoxin B<sub>2</sub>, AFB<sub>2</sub>, 0.501 μg/mL)、黄曲霉毒素 G<sub>1</sub> (aflatoxin G<sub>1</sub>, AFG<sub>1</sub>, 2.08 μg/mL)、黄曲霉毒素 G<sub>2</sub> (aflatoxin G<sub>2</sub>, AFG<sub>2</sub>, 2.08 μg/mL)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON, 100.1 μg/mL)、赫曲霉毒素 A (ochratoxin A, OTA, 10.05 μg/mL)、玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN, 100.2 μg/mL)、伏马菌素 B<sub>1</sub> (fumonisin B<sub>1</sub>, FB<sub>1</sub>, 50.1 μg/mL)、伏马菌素 B<sub>2</sub> (fumonisin B<sub>2</sub>, FB<sub>2</sub>, 50.0 μg/mL)、伏马菌素 B<sub>3</sub> (fumonisin B<sub>3</sub>, FB<sub>3</sub>, 50.3 μg/mL)、3-乙酰脱氧雪腐镰刀菌烯醇(3-acetyldeoxynivalenol, 3Ac-DON, 100.1 μg/mL)、15-乙酰脱氧雪腐镰刀菌烯醇(15-acetyldeoxynivalenol, 15Ac-DON, 100.1 μg/mL)、T-2 毒素(T-2 toxin, T-2, 100.1 μg/mL)、雪腐镰刀菌烯醇(nivalenol, NIV, 100.1 μg/mL)、杂色曲霉素(sterigmatocystin, STC, 50.3 μg/mL)、HT-2 毒素(HT-2 toxin, HT-2, 100.1 μg/mL)、交链孢菌酮酸(tenuzonic acid, TeA, 100.8 μg/mL)、交链孢酚(alternariol, AOH, 100.3 μg/mL)、腾毒素(tentoxin, TEN, 100.5 μg/mL)、交链孢酚单甲醚(alternariol monomethyl ether, AME, 101.1 μg/mL)和交链孢烯(altenuene, ALT, 10.48 μg/mL)。

## 1.4 检测方法

板栗用去皮机去掉板栗壳, 再用粉碎机将脱壳的板栗粉碎, 混匀, 用四分法分成 2 份, 每份至少 200 g, 装入食品样品袋中, 1 份-20 °C 冷冻保藏, 另 1 份用于检测。本研究采用同位素内标直接稀释法进行前处理, 用超高效液相色谱-三重四极杆串联质谱仪进行测定。TeA、AOH、TEN、AME 和 ALT 5 种交链孢菌素检测方法参照王远等<sup>[22]</sup>的方法, 其他 16 种真菌毒素则按照王权帅等<sup>[23]</sup>建立的分析方法进行检测。

## 1.5 板栗消费数据

由于没有板栗的消费量数据, 本研究采用坚果消费量作为板栗的消费量数据。根据《2002 年北京市居民营养与健康状况调查报告》<sup>[24]</sup>报道, 北京市居民坚果消费量为 11.5 g/d。

## 1.6 暴露评估

### 1.6.1 每日估计摄入量

真菌毒素的每日估计摄入量(estimated daily intake,

EDI)按照式(1)进行计算, 单位为 ng·kg<sup>-1</sup>·bw·d<sup>-1</sup><sup>[21]</sup>。根据《2002 年北京市居民营养与健康状况调查报告》, 北京市居民成年男性和女性的体重分别为 64.31 kg 和 59.65 kg。样品中真菌毒素污染的平均浓度为所有样品(包括阳性样品和阴性样品)的真菌毒素污染值计算所得。

$$EDI = \frac{C \times K}{BW} \quad (1)$$

式中: C 为样品中真菌毒素污染的平均浓度, μg/kg; K 为样品消费量, g/d; BW 为体重(body weight), kg。

### 1.6.2 每日耐受摄入量

TDI 可用量化常年摄入某种有害物质且不会对人体产生不良影响的最大耐受摄入量。真菌毒素的膳食摄入风险水平可由 EDI 与 TDI 的比值来进行量化分析, 用%TDI 表示, 具体见公式(2)<sup>[25]</sup>。

$$\%TDI = \frac{EDI}{TDI} \times 100\% \quad (2)$$

%TDI<100 表示真菌毒素膳食暴露水平可以接受, 不会对人体健康产生不良影响, NIV、FB<sub>1</sub>、伏马菌素总和、ZEN 的 TDI 值分别为 1200、1000、1000 和 250 ng·kg<sup>-1</sup>·bw·d<sup>-1</sup><sup>[26-28]</sup>。

### 1.6.3 限量阈值

对于没有相关摄入阈值被公布的污染物采用限量阈值(margin of exposure, MOE)理论对膳食摄入暴露风险进行评估。MOE 由真菌毒素的基准剂量下限(benchmark dose lower limit, BMDL)与 EDI 的比值表示, 具体计算见公式(3)<sup>[29]</sup>。

$$MOE = \frac{BMDL}{EDI} \quad (3)$$

OTA 对于肿瘤效应表征的 BMDL 值为 14500 ng·kg<sup>-1</sup>·bw·d<sup>-1</sup>, MOE≥10000 被认为是低健康问题。对于慢性非肿瘤效应表征, BMDL 值为 4730 ng·kg<sup>-1</sup>·bw·d<sup>-1</sup>, MOE≥200 被认为是低健康问题<sup>[29]</sup>。STC 的 BMDL<sub>10</sub> 值为 160000 ng·kg<sup>-1</sup>·bw·d<sup>-1</sup>, MOE≥10000 被认为是低健康问题<sup>[30]</sup>。

### 1.6.4 毒理学关注阈值

对于毒理学数据非常有限的真菌毒素, CONTAM 建议可以使用毒理学关注阈值(threshold of toxicological concern, TTC)方法来评估这些真菌毒素对人类健康的影响。对于遗传毒性的交链孢菌素 AOH 和 AME, TTC 值为 2.5 ng·kg<sup>-1</sup>·bw·d<sup>-1</sup>, 而对于非遗传毒性的交链孢菌素 TEN 和 TeA, TTC 值为 1500 ng·kg<sup>-1</sup>·bw·d<sup>-1</sup><sup>[31]</sup>。

### 1.6.5 多种真菌毒素的累积风险评估

多种真菌毒素的累积风险采用欧盟食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)在 2020 年建立的食品和饲料中多种真菌毒素混合物风险评估建模方法(mixtures in food and feed: holistic, innovative, flexible risk assessment modelling approach, MYCHIF)进行评估<sup>[32]</sup>。

通过对板栗样品贮藏期真菌毒素含量的分析可知, AME、AOH、TEN、TeA、NIV、OTA、FB<sub>1</sub>、ZEN 和 STC 等 9 种真菌毒素出现共污染情况<sup>[33]</sup>。对于 NIV、OTA、FB<sub>1</sub> 和 STC,

使用 10%效应(BMDL<sub>10</sub>)的基准剂量置信下限作为剂量-反应数据的分离点(point of departure, POD)进行危险特性描述, 其 POD 值分别为 140、4.73、100 和 160  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。ZEN 采用未观察到作用剂量(no observed effect level, NOEL)作为 POD 来描述危险特性, POD 值为 10.4  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。AME、AOH、TEN 和 TeA 由于数据不足, EFSA 还没有制定出 BMDL 或 NOEL, 因此对于这 4 种交链孢霉菌素采用 TTC 值设定为 POD 来进行危险特性描述, 其 POD 值分别为 0.0025、0.0025、1.5000、1.5000  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

## 1.7 数据处理

样品真菌毒素水平检测结果低于检出限(limit of detect, LOD)或未检出的数据, 低限以 0 代替分析, 高限以 LOD 处理分析。真菌毒素风险评估点评估由 Microsoft Office Excel 2007 完成。真菌毒素风险评估概率评估利用基于 Monte Carlo 模拟技术的@Risk 7.5 专业风险评估软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 AOH 和 AME 膳食暴露风险评估

AOH 膳食暴露风险评估情况见表 1。AOH 从贮藏的第 5 个月开始检出, 低限计算的平均浓度为 0.049~3.762  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 高限计算的平均浓度为 0.226~3.892  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。EDI 成年男性为 0.009~0.696  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 成年女性为 0.010~0.750  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。不论是低限还是高限, EDI 计算结果均没有超过 2.500  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。但贮藏 12 个月的怀北 3113、怀北燕红和贮藏 7 个月的雁栖 3113 检出浓度超过平均值, 用该浓度计算的 EDI 水平分别为男性 3.566、2.744 和 3.751  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 女性 3.845、2.959 和 4.044  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 均要高于 2.500  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。AME 膳食暴露风险评估情况见表 2。AME 同样从贮藏的第 5 个月开始检出。平均浓度为 0.114~3.661  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。EDI 成年男性为 0.020~0.655  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 成年女性为 0.022~0.706  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。均没有超过 2.500  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。但渤海 3113 和雁栖怀黄在贮藏到末期, 检出浓度分别有 17.900  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 14.100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 计算的 EDI 分别为男性 3.200  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$  和 2.520  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 女性 3.440  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$  和 2.720  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 均高于 2.500  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。用对数指数函数分布方式使用@Risk 7.5 软件对 AOH 和 AME 进行概率评估。AOH 整个贮藏期风险均不高。尽管当贮藏到 7 个月时, 有 1 件雁栖 3113 的板栗样本检出浓度较高, 但经过分析不论男女消费者风险都不大。而对于 AME 使用对数指数函数分布进行分析可知, 当贮藏到 11 个月时, 男女消费者都可能会有健康风险。

### 2.2 TEN 和 TeA 膳食暴露风险评估

TEN 膳食暴露风险评估情况见表 3。TEN 毒理学关注

阈值为 1500  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。有 2 件样品从贮藏的第 1 个月开始就有检出。平均浓度为 0.045~1.634  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。平均膳食暴露量成年男性为 0.008~0.292  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 成年女性为 0.009~0.315  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。均没有超过 1500  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。TeA 膳食暴露风险评估情况见表 4。TeA 毒理学关注阈值也为 1500  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。前半年没有样品检出 TeA, 贮藏的后 6 个月 TeA 检出平均浓度为 2.346~51.573  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。平均膳食暴露量成年男性为 0.420~9.222  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 成年女性为 0.452~9.943  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。均没有超过 1500  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。因此 TEN 和 TeA 对人体健康产生不良影响的几率较小。

表 1 AOH 膳食暴露风险评估  
Table 1 Dietary exposure and risk assessment of AOH

贮藏 时间/月	平均浓度/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$		EDI/ $(\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1})$			
			男性		女性	
	低限	高限	低限	高限	低限	高限
5	0.049	0.226	0.009	0.040	0.010	0.044
6	0.098	0.275	0.018	0.049	0.019	0.053
7	1.394	1.559	0.249	0.279	0.269	0.301
8	0.263	0.439	0.047	0.079	0.051	0.085
9	0.323	0.499	0.058	0.089	0.062	0.096
10	0.720	0.896	0.129	0.160	0.139	0.173
11	0.952	1.116	0.170	0.200	0.183	0.215
12	3.762	3.892	0.673	0.696	0.725	0.750

表 2 AME 膳食暴露风险评估  
Table 2 Dietary exposure and risk assessment of AME

贮藏 时间/月	平均浓度/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$		EDI/ $(\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1})$			
			男性		女性	
	低限	高限	低限	高限	低限	高限
5	0.128	1.070	0.023	0.191	0.025	0.206
6	0.114	1.055	0.020	0.189	0.022	0.203
7	0.736	1.618	0.132	0.289	0.142	0.312
8	1.037	1.802	0.185	0.322	0.200	0.347
9	0.450	1.332	0.080	0.238	0.087	0.257
10	0.853	1.617	0.152	0.289	0.164	0.312
11	2.956	3.661	0.529	0.655	0.570	0.706
12	2.413	3.060	0.432	0.547	0.465	0.590

表 3 TEN 膳食暴露风险评估  
Table 3 Dietary exposure and risk assessment of TEN

贮藏 时间/月	平均浓度 / $(\mu\text{g}/\text{kg})$		EDI/ $(\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1})$			
			男性		女性	
	低限	高限	低限	高限	低限	高限
1	0.045	0.310	0.008	0.055	0.009	0.060
2	0.091	0.338	0.016	0.060	0.018	0.065
3	0.181	0.428	0.032	0.076	0.035	0.082
4	0.241	0.488	0.043	0.087	0.046	0.094
5	0.395	0.624	0.071	0.112	0.076	0.120
6	0.408	0.637	0.073	0.114	0.079	0.123
7	0.477	0.671	0.085	0.120	0.092	0.129
8	0.788	0.929	0.141	0.166	0.152	0.179
9	0.836	0.977	0.149	0.175	0.161	0.188
10	0.988	1.111	0.177	0.199	0.190	0.214
11	1.134	1.257	0.203	0.225	0.219	0.242
12	1.511	1.634	0.270	0.292	0.291	0.315

表 4 TeA 膳食暴露风险评估

Table 4 Dietary exposure and risk assessment of TeA

贮藏 时间/月	平均浓度 /( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )		EDI/( $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ )			
			男性		女性	
	低限	高限	低限	高限	低限	高限
7	2.346	2.699	0.420	0.483	0.452	0.520
8	9.721	9.957	1.738	1.780	1.874	1.902
9	14.385	14.620	2.572	2.614	2.773	2.819
10	22.990	23.196	4.111	4.148	4.432	4.472
11	41.084	41.232	7.347	7.373	7.921	7.949
12	51.426	51.573	9.196	9.222	9.914	9.943

### 2.3 NIV 膳食暴露风险评估

NIV 膳食暴露风险评估情况见表 5。与 TeA 一样, NIV 前半年没有样品检出, 贮藏的后 6 个月 NIV 检出平均浓度为 20.025~127.286  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。EDI 成年男性为 3.581~22.761  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 成年女性为 3.861~24.540  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。NIV 的 TDI 值为 1200  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。因此所有样品在整个贮藏期间都没有超过 TDI 值, %TDI 均小于 100。NIV 的急性参考剂量 (acute reference dose, ARfD) 为 14000  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。膳食暴露量均未超出 ARfD 值, 由此可知, 整个贮藏期间产生的 NIV 不会对人体产生慢性或急性毒性。

表 6 OTA 膳食暴露风险评估

Table 6 Dietary exposure and risk assessment of OTA

贮藏 时间/月	EDI( $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ )				肿瘤 MOE				慢性非肿瘤 MOE			
	男性		女性		男性		女性		男性		女性	
	低限	高限	低限	高限	低限	高限	低限	高限	低限	高限	低限	高限
7	0.011	0.058	0.011	0.062	1367531	250267	1268437	232132	446098	81639	413773	75723
8	0.054	0.086	0.059	0.093	267146	168930	247788	156689	87145	55106	80830	51113
9	0.386	0.386	0.416	0.416	37589	37589	34865	34865	12262	12262	11373	11373
10	0.420	0.420	0.452	0.452	34548	34548	32045	32045	11270	11270	10453	10453
11	0.331	0.334	0.357	0.360	43836	43422	40660	40275	14300	14165	13263	13138
12	0.357	0.360	0.385	0.389	40591	40236	37650	37320	13241	13125	12282	12174

### 2.5 其他真菌毒素膳食暴露风险评估

FB<sub>1</sub>、ZEN 和 STC 检出的样品非常少, 以单个检出的最大浓度值进行计算。膳食暴露量计算结果见表 7。FB<sub>1</sub>、总伏马毒素和 ZEN 采用 %TDI 值进行膳食暴露风险评估, 3 个真菌毒素的 %TDI 值均小于 100。STC 采用 MOE 方法进行膳食暴露风险评估, 经计算其 MOE 大于 10000。一方面所有样品 5 种真菌毒素检出率均非常低, 已检出的最大浓度值通过分析不会对产生健康风险。综上所述, 板栗在整个贮藏期间产生的 FB<sub>1</sub>、FB<sub>2</sub>、FB<sub>3</sub>、ZEN 和 STC 不会对产生健康风险。

表 7 FB<sub>1</sub>、总伏马毒素、ZEN 和 STC 膳食暴露风险评估Table 7 Dietary exposure and risk assessment of FB<sub>1</sub>, total fumonisin, ZEN and STC

真菌毒素	浓度/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	EDI( $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ )	
		男性	女性
FB <sub>1</sub>	5.090	0.910	0.976
总 FB	13.500	2.414	2.590
ZEN	3.700	0.662	0.710
STC	0.753	0.135	0.144

表 5 NIV 膳食暴露风险评估

Table 5 Dietary exposure and risk assessment of NIV

贮藏 时间/月	平均浓度/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )		%TDI			
			男性		女性	
	低限	高限	低限	高限	低限	高限
7	20.025	42.084	0.298	0.627	0.322	0.676
8	49.555	67.202	0.739	1.001	0.796	1.080
9	49.601	68.718	0.739	1.024	0.797	1.104
10	114.050	127.286	1.700	1.897	1.832	2.045
11	112.794	124.558	1.681	1.856	1.812	2.001
12	61.180	80.298	0.912	1.197	0.983	1.290

### 2.4 OTA 膳食暴露风险评估

OTA 的风险评估分为肿瘤效应表征和慢性非肿瘤效应表征(表 6)。OTA 检出平均浓度为 0.058~2.350  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。平均膳食暴露量成年男性为 0.011~0.420  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ , 成年女性为 0.011~0.452  $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{bw} \cdot \text{d}^{-1}$ 。OTA 对于慢性非肿瘤效应的表征, MOE  $\geq 200$  被认为是低健康问题。而对于肿瘤效应的表征, MOE  $\geq 10000$  被认为是低健康问题。根据表 6 的结果可知, 肿瘤风险 MOE 均大于 10000, 非肿瘤风险 MOE 均大于 200。由此可知, 板栗样品在整个贮藏期间产生的 OTA 不会对人体产生健康风险。

### 2.6 板栗样品真菌毒素共污染累积暴露风险评估

板栗样品真菌毒素共污染累积暴露风险评估见表 8。渤海镇 4 个品种的板栗样本在贮藏 10 个月后均出现了共污染状况, 样本同时检出的真菌毒素种类有 2~4 种。怀黄和怀九在整个贮藏期 MOE 在 162~4566 之间大于 100。而 3113 和燕红品种的板栗样本在贮藏到第 11 个月 MOE 均小于 100。花花样品贮藏到 10 个月时, 同时检出 2 种真菌毒素, MOE 大于 100, 当贮藏到第 11 个月时, 共污染的真菌毒素增加到 3 种, MOE 也降低到 100 以下。怀北镇的怀黄板栗样品在整个贮藏期 MOE 均大于 100。怀九贮藏到第 10 个月, 3113 贮藏到第 11 个月 MOE 由 100 以上转为小于 100。燕红样品女性 MOE 从贮藏第 8 个月的 979, 逐渐降低到第 11 个月的 168, 当贮藏到 12 个月, 燕红板栗样品同时检出 6 种真菌毒素, MOE 开始小于 100。九渡河镇板栗样品怀黄在整个贮藏期第 10、11 两月检出 3 种真菌毒素, MOE 均大于 100。怀九贮藏到第 10 个月, 3113 贮藏到第 11 个月 MOE 由 100 以上转为小于 100。怀九样品在贮藏的第 5 个月同

表 8 真菌毒素共污染膳食暴露风险评估  
Table 8 Dietary exposure and risk assessment of co-contamination of mycotoxins

采样地点	板栗品种	贮藏时间/月	真菌毒素	MOE		
				男性	女性	
渤海镇	3113	10	NIV-OTA	2659	2466	
		11	AME-OTA	0.78	0.72	
	怀黄	10	TEN-OTA-FB <sub>1</sub>	4566	4235	
		11	TEN-NIV-OTA	2179	2021	
	怀九	10	TEN-TeA-OTA-FB <sub>1</sub>	175	162	
		10	TEN-TeA-NIV-OTA	161	149	
	燕红	11	TEN-TeA-NIV-OTA	93	86	
		12	TEN-TeA-NIV-OTA	77	71	
	花花	10	TeA-OTA	445	413	
		11	TeA-NIV-AME	3.02	2.80	
	怀北镇	3113	10	TEN-OTA	4659	4322
			11	TEN-TeA-AME-OTA	1.91	1.77
12			TEN-AOH-TeA-AME-OTA	0.49	0.45	
怀黄		12	TEN-TeA-OTA	122	113	
		9	TEN-OTA	5231	4852	
怀九		10	TEN-ZEN-AME-OTA	9.74	9.04	
		12	TEN-AOH-AME-OTA	1.02	0.95	
燕红		8	TEN-TeA-NIV-OTA	1056	979	
			TEN-TeA-NIV-OTA	547	507	
		10	TEN-TeA-NIV-OTA	358	332	
		11	TEN-TeA-NIV	181	168	
		12	TEN-AOH-TeA-NIV-AME-OTA	0.71	0.66	
	10		NIV-OTA	2227	2065	
九渡河镇	3113	11	AOH-TeA-OTA	26.30	24.40	
		10	TeA-OTA-FB <sub>1</sub>	163	151	
	怀黄	11	TeA-NIV-OTA	132	122	
		5	TEN-AOH-AME	5.28	4.89	
	怀九	9	TEN-AOH-AME-OTA	1.96	1.82	
		10	TEN-AOH-NIV-AME-OTA	1.44	1.34	
	燕红	8	TeA-NIV-OTA	243	226	
			TeA-NIV-OTA	152	141	
		10	TeA-NIV-OTA	93.80	87.00	
		12	AOH-TeA-NIV-AME-OTA	1.42	1.32	
	雁栖镇	3113	8	TEN-TeA-OTA	311	288
			9	TEN-TeA-OTA	199	184
10			TEN-TeA-OTA	196	189	
怀黄		11	TEN-TeA-OTA	105	98	
		12	AOH-TeA-AME-OTA	0.45	0.42	
怀九		9	AME-OTA	3.19	2.96	
		11	AME-OTA	0.99	0.92	
燕红		12	ZEN-AME-OTA	1.04	0.96	
		3	TEN-STC	14103	13081	
雁栖镇		5	TEN-AOH	37.30	34.60	
			10	TEN-AOH-TeA-NIV-OTA	2.02	1.87
		11	TEN-AOH-TeA-NIV-OTA	1.61	1.50	
	8		TeA-NIV-OTA	392	363	
	10	TeA-NIV-AME-OTA	9.74	9.03		

时检出 3 种真菌毒素,第 9 个月同时检出 4 种真菌毒素和第 10 个月同时检出 5 种真菌毒素,MOE 均低于 100。燕红样品 MOE 从贮藏第 10 个月降到 100 以下。雁栖镇板栗样品 3113 贮藏 8~10 个月时,共污染的真菌毒素为 3 种,MOE

为 184~331。贮藏 11 个月时,男性 MOE 大于 100,而女性 MOE 低于 100,到贮藏的最后一个月不论男女居民,MOE 均低于 100。怀黄样品在整个贮藏期 MOE 均在小于 100。怀九贮藏到第 3 个月,第一次同时检出多种真菌毒素,MOE 远大于 100,由此可知风险很小。当贮藏到第 5 月,同时检出了 TEN 和 AOH,MOE 降为 34.6~37.3,从此时开始一直到贮藏期结束,MOE 均低于 100,且在贮藏到第 10 和 11 月,均同时检出了 5 种真菌毒素,燕红样品 MOE 从贮藏第 10 个月降低到 100 以下。通过以上分析可知,除部分特例外,板栗样本贮藏 9 个月产生的真菌毒素累积膳食暴露对北京市居民不构成健康威胁,而贮藏 10~12 个月的板栗样本可能会对居民的健康产生风险。

### 3 讨论与结论

目前国内外专门针对板栗进行的风险评估的研究报道非常少,本研究首次对怀柔区冷库 1 年贮藏期的板栗进行了真菌毒素膳食暴露评估。对单个真菌毒素的风险评估结果表明,AOH 和 AME 在贮藏后期,可能存在对人体健康的潜在风险,但不论是点估计法还是概率法,为进一步明确其风险,均需要更多的毒理学数据。这与 WANG 等<sup>[21]</sup>对坚果样本的研究成果一致,他们对坚果中交链孢霉菌素进行了膳食暴露风险评估,TEN 不会对消费者的健康构成风险,但 AOH 和 AME 的摄入可能会对人体健康构成潜在威胁。其他 19 种真菌毒素膳食暴露对人体健康没有威胁。

一种真菌可以产生不同的真菌毒素,更复杂的是一种食品也有可能同时污染多种真菌毒素。因此,同一食品可能同时被多种真菌毒素污染<sup>[32]</sup>。本研究通过真菌毒素累积风险评估,发现板栗在贮藏到后期,大部分样本贮藏到 10 个月左右时开始出现共污染状况,这与 ZHOU 等<sup>[34]</sup>对板栗样本的检出情况一致,能同时检出 2~6 种不同的真菌毒素,且通过评估贮藏 10~12 个月的板栗样本可能会对居民的健康产生风险,这与 WANG 等<sup>[21]</sup>对坚果样本的研究成果不一致。本研究在板栗中能同时检出多种交链孢霉菌素,这与 JI 等<sup>[35]</sup>对农产品的检出结果类似。

综上所述,所有品种的板栗样本贮藏 9 个月,真菌毒素对消费者无明显风险,消费者可以放心食用。板栗贮藏到末期同时检出多种真菌毒素,可能会对人体产生健康风险,为进一步明确其风险,需要更多的毒理学数据。

### 参考文献

- [1] 张馨方,张树航,李颖,等.燕山板栗品种资源坚果表型多样性分析及评价[J/OL].植物遗传资源学报,1-11.[2024-10-18].DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.20240620004  
ZHANG XF,ZHANG SH,LI Y,et al.Nut phenotypic diversity analysis and evaluation of Chinese chestnut variety resources in Yanshan Mountains[J/OL].Journal of Plant Genetic Resources,1-11.[2024-10-18].DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.20240620004
- [2] 李志朋.怀柔区板栗黄化皱缩病发生相关因子调查及综合防控示范[J].

- 中国植保导刊, 2020, 40(10): 65–70.
- LI ZM. Investigation and comprehensive prevention demonstration of factors related to chestnut yellowing and shrinkage disease in Huairou District [J]. *China Plant Protection*, 2020, 40(10): 65–70.
- [3] 陈秋怡, 王雪菲, 邵颖, 等. 六种保鲜方式对板栗贮藏特性的影响[J]. *黑龙江粮食*, 2023(4): 77–79, 10.
- CHEN QY, WANG XF, SHAO Y, *et al.* The influence of six preservation methods on the storage characteristics of chestnuts [J]. *Heilongjiang Grain*, 2023(4): 77–79, 10.
- [4] ZHU F. Effect of processing on quality attributes of chestnut [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2016, 9(9): 1429–1433.
- [5] PRENCIPE S, SICILIANO I, CONTESSA C, *et al.* Characterization of *Aspergillus* section *flavi* isolated from fresh chestnuts and along the chestnut flour process [J]. *Food Microbiology*, 2018(69): 159–169.
- [6] LI M, YANG S, PENG L, *et al.* Compositional shifts in fungal community of chestnuts during storage and their correlation with fruit quality [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2022(191): 111983.
- [7] MARCO G, EDOARDO P, FABIO B, *et al.* Several secondary metabolite gene clusters in the genomes of ten *Penicillium* spp. raise the risk of multiple mycotoxin occurrence in chestnuts [J]. *Food Microbiology*, 2024(122): 104532.
- [8] 魏源, 王凤春, 丁田雨, 等. 板栗贮藏保鲜技术研究进展[J]. *中国果菜*, 2022, 42(9): 21–24, 84.
- WEI Y, WANG FC, DING TY, *et al.* Research progress of chestnut storage and preservation technologies [J]. *China Fruit & Vegetable*, 2022, 42(9): 21–24, 84.
- [9] 王贵禧, 梁丽松, 宗亦臣. 板栗贮藏保鲜条件及品质变化研究[J]. *林业科学研究*, 2000(2): 118–122.
- WANG GX, LIANG LS, ZONG YC. Studies on the storage condition and quality change of Chinese chestnut after harvest [J]. *Forest Research*, 2000(2): 118–122.
- [10] 蒋世云, 王维熙, 刘昭明, 等. 板栗贮藏正交保鲜试验[J]. *广西热带农业*, 2002(3): 1–3.
- JIANG SY, WANG WX, LIU ZM, *et al.* Orthogonal preservation experiment of chestnut in sand storage [J]. *Guangxi Science & Technology of Tropical Crops*, 2002(3): 1–3.
- [11] 杜玉宽, 孙晓珍, 杜新荣. 板栗商业气调贮藏保鲜技术研究[J]. *西北林学院学报*, 2004, 19(4): 129–131.
- DU YK, SUN XZ, DU XR. A study of the technical research of preservation and freshness angrily of *Castanea mollissima* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2004, 19(4): 129–131.
- [12] VETTRAIANO AM, VINCIGUERRA V, PACINI G, *et al.* Gaseous ozone as a suitable solution for postharvest chestnut storage: Evaluation of quality parameter trends [J]. *Food and Bioprocess Technology: An International Journal*, 2020, 13(1): 187–193.
- [13] BARREIRA JCM, ANTONIO AL, GÜNAYDI T, *et al.* Chemometric characterization of gamma irradiated chestnuts from turkey [J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2012, 81: 1520–1524.
- [14] 李志霞, 聂继云, 闫震, 等. 果品主要真菌毒素污染检测、风险评估与控制研究进展[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(2): 332–347.
- LI ZX, NIE JY, YAN Z, *et al.* Progress in research of detection, risk assessment and control of the mycotoxins in fruits and fruit products [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(2): 332–347.
- [15] 王小博. 水产品中常见真菌毒素的污染调查及对虾中残留的风险评估[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2017.
- WANG XB. Pollution investigation of common mycotoxins in aquatic products and risk assessment of residues in shrimp [D]. *Zhanjiang: Guangdong Ocean University*, 2017.
- [16] STOEV SD. Foodborne mycotoxicoses, risk assessment and underestimated hazard of masked mycotoxins and joint mycotoxin effects or interaction [J]. *Environmental Toxicology Pharmacology*, 2015, 39(2): 794–809.
- [17] 白艺珍, 李培武, 丁小霞, 等. 我国粮油作物产品真菌毒素风险评估现状与对策探讨[J]. *农产品质量与安全*, 2015(5): 54–58.
- BAI YZ, LI PW, DING XX, *et al.* Discussion on the current situation and countermeasures of mycotoxins risk assessment in grain and oil crop products in China [J]. *Quality and Safety of Agro-products*, 2015(5): 54–58.
- [18] ASSUNO R, VASCO E, NUNES B, *et al.* Single-compound and cumulative risk assessment of mycotoxins present in breakfast cereals consumed by children from Lisbon region, Portugal [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2015, 86: 274–281.
- [19] GARCÍA-MORALEJA A, FONT G, MAES J, *et al.* Analysis of mycotoxins in coffee and risk assessment in *Spanish adolescents and adults* [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2015, 86: 225–233.
- [20] STOEV SD. Food security, underestimated hazard of joint mycotoxin exposure and management of the risk of mycotoxin contamination [J]. *Food Control*, 2024, 159: 110235.
- [21] WANG YJ, NIE JY, ZHEN Y. Multi-mycotoxin exposure and risk assessments for Chinese consumption of nuts and dried fruits [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(7): 1676–1690.
- [22] 王远, 邢丽杰, 李先义, 等. UPLC-MS/MS 法测定番茄酱中 5 种链格孢霉毒素[J]. *食品工业*, 2021, 42(7): 323–327.
- WANG Y, XING LJ, LI XY, *et al.* Determination of five *alternaria* toxins in tomato ketchup using UPLC-MS/MS [J]. *The Food Industry*, 2021, 42(7): 323–327.
- [23] 王权帅, 孙卫明. 同位素内标-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定板栗中 16 种真菌毒素[J]. *食品科技*, 2021, 46(11): 307–313.
- WANG QS, SUN WM. Simultaneous determination of 16 kinds of mycotoxins in chestnut using isotope internal standard-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(11): 307–313.
- [24] 刘泽军. 2002 年北京市居民营养与健康状况调查报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2006.
- LIU ZJ. Report on the nutrition and health status survey of residents of Beijing in 2002 [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2006.
- [25] AZAIEZ I, FONT G, MAES J, *et al.* Survey of mycotoxins in dates and dried fruits from Tunisian and Spanish markets [J]. *Food Control*, 2015(51): 340–346.
- [26] KNUTSEN HK, LARS B, BIGNAMI M, *et al.* Appropriateness to set a group health based guidance value for T<sub>2</sub> and HT<sub>2</sub> toxin and its modified forms [J]. *EFSA Journal*, 2017, 15(4): 4751.
- [27] KNUTSEN H, BARREGRD L, BIGNAMI M, *et al.* Appropriateness to set a group health-based guidance value for fumonisins and their modified forms [J]. *EFSA Journal*, 2018, 16(2): 5172.
- [28] ALEXANDER J, BARREGARD L, BIGNAMI M, *et al.* Appropriateness to set a group health-based guidance value for zearalenone and its modified forms [J]. *EFSA Journal*, 2016, 14(4): 4425.
- [29] SCHRENK D, BODIN L, CHIPMAN JK, *et al.* Risk assessment of ochratoxin A in food [J]. *EFSA Journal*, 2020, 18(5): 6113.
- [30] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific opinion on the risk for public and animal health related to the presence of sterigmatocystin in food and feed [J]. *EFSA Journal*, 2013, 11(6): 3254.
- [31] ARCELLA D, ESKOLA M, JOSE AG R. Dietary exposure assessment to *Alternaria* toxins in the European population [J]. *EFSA Journal*, 2016, 14(12): 4654.
- [32] BATTILANI P, PALUMBO R, GIORNI P, *et al.* Mycotoxin mixtures in food and feed: Holistic, innovative, flexible risk assessment modelling approach: MYCHIF [J]. *EFSA Supporting Publications*, 2020, 17(1): EN-1757.
- [33] 王权帅, 孙卫明. 北京市怀柔区板栗冷库贮藏过程中真菌毒素污染状况研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2025, 16(3): 35–43.
- WANG QS, SUN WM. Study on the contamination of mycotoxins during cold storage of *Castanea mollissima* in Beijing Huairou District [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2025, 16(3): 35–43.
- [34] ZHOU J, ZHANG D, CHEN X, *et al.* Investigation on the occurrence and contamination of multi-mycotoxin in chestnut and jujube (red date) [J]. *Journal of Chromatography A*, 2021, 1659: 462486.
- [35] JI XF, XIAO YP, JIN CH, *et al.* *Alternaria* mycotoxins in food commodities marketed through e-commerce stores in China: Occurrence and risk assessment [J]. *Food Control*, 2022, 140: 109125.

(责任编辑: 韩晓红 安香玉)