

果蔬中真菌毒素污染及臭氧防治研究进展

姜楠, 王蒙, 韦迪哲, 王瑶, 冯晓元*

(北京农业质量标准与检测技术研究中心, 农业部农产品质量安全风险评估实验室(北京),
农产品产地环境监测北京市重点实验室, 北京 100097)

摘要: 果蔬在生长、采收、贮藏、运输、加工、销售等各个环节极易产生损伤, 易受到病原致病微生物的浸染。真菌毒素是真菌产生的次级代谢产物, 会在果蔬内部大量积累, 某些毒素具有急性或慢性毒性, 不仅造成巨大经济损失, 也会通过食物链传播对人和牲畜的健康造成极大危害。目前有众多毒素降解方法, 本文总结了果蔬中常见的真菌毒素及其污染现状, 并针对果蔬及其加工制品中常用的臭氧防控技术的原理及应用进行了综述, 对该领域目前存在问题及今后的重点研究方向进行了总结和展望, 旨在为开发出更高效、绿色、环保的果蔬及其加工制品中真菌毒素的降解方法提供参考。

关键词: 真菌毒素; 臭氧降解; 果蔬

Progress on mycotoxins contamination and ozone degradation in fruits and vegetables

JIANG Nan, WANG Meng, WEI Di-Zhe, WANG Yao, FENG Xiao-Yuan*

(Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing (BRCAS), Risk Assessment Lab for Agro-products (Beijing), Ministry of Agriculture, Beijing Municipal Key Laboratory of Agriculture Environment Monitoring, Beijing 100097, China)

ABSTRACT: Fruits and vegetables are easy to be damaged and decay triggered by pathogen infection during growth, harvesting, storage, transportation, processing and marketing. Mycotoxins are secondary metabolites produced. Some mycotoxins have acute or chronic toxicity which not only result in huge economic losses, but also have brought great threaten to animals and humans through the transmission of food chains. So there are many toxin degradation methods. This paper summarized the typical mycotoxins in fruits and vegetables, and introduced the principle and application situation of ozone treatment technology. Moreover, the existing problems in the research and its future development tendencies had been summarized and proposed, which was expected to provide some references for further to develop more efficient, green and environmental protection methods.

KEY WORDS: mycotoxins; ozone degradation methods; fruits and vegetables

1 引言

真菌毒素是真菌在生长过程中产生的次级代谢产物,

绝大部分具有毒性。众所周知, 真菌毒素容易污染小麦、大麦、玉米、水稻等粮食作物, 但其对水果、蔬菜等农产品的污染亦相当严重。然而, 目前关于该方面的研究还未

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303075)、北京市自然科学基金(6154023)

Fund: Supported by the Special Public Welfare Industry (Agriculture) Research (201303075) and Natural Science Foundation of Beijing (6154023)

*通讯作者: 冯晓元, 研究员, 主要研究方向为果品质量与安全。E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com

*Corresponding author: FENG Xiao-Yuan, Professor, Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Room 703, Block A, Beijing Agricultural Building, No.11 Middle Road of Shuguanghuayuan, Haidian District, Beijing 100097, China. E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com

引起人们的足够重视。水果、蔬菜等大宗农产品是人类膳食的重要组成部分,具有不可替代的作用。果蔬在生长、采收、贮藏、运输、销售等各个过程,极易受到各种病原菌的侵染而发生腐烂,特别是在贮藏期间,由病原菌侵染引起的果蔬采后腐烂较重^[1-2]。腐烂的果蔬不仅造成巨大的经济损失,而且会在腐烂部位及其周围健康组织中积累大量的真菌毒素,这些真菌毒素在适宜的温、湿度条件下对人和动物会产生广泛的毒性效应,包括致癌、致畸、致突变等作用,具有潜在威胁^[3]。

长期以来,由于人们的饮食习惯,会将果蔬上腐烂部位去除后再食用,因此果蔬中真菌毒素污染问题并未引起足够重视。但已有研究表明,未腐烂部位也有不同程度的真菌毒素检出。此外,在果蔬加工制品,如果汁、果酱、果酒等工业生产过程中,主要是通过剔除腐烂部分降低毒素及病菌污染的风险,但是有的病原菌,如链格孢菌属(*Alternaria* spp.)可使果实内部腐烂而表皮无明显变化,因此并不能完全消除风险^[4]。因此,关于有效降解真菌毒素方法的研究越来越受到国内外学者的重视。目前常用的脱毒方法大致分为化学方法、生物方法及物理方法等。化学方法是添加化学试剂,如亚硫酸氢钠、次氯酸钠、双氧水等成分来降低或控制真菌毒素的危害,但是化学降解法可能会给食品及原料带来新的污染,目前在世界上很多国家和地区被禁止;生物方法主要原理是采用富集培养的土壤细菌、益生菌菌株、枯草芽孢杆菌等对真菌毒素进行分解或通过抑制、拮抗作用来阻碍真菌毒素的生长,但是存在见效周期长、操作复杂、很难在短时间内实现大规模普及等缺点;物理方法常见手段有紫外线或⁶⁰Co- γ 射线辐照法、热处理法、吸附法、微波处理、放电等离子体作用等,但也存在一定问题,比如加热过程会影响食品的风味和营养价值,吸附剂在吸附真菌毒素的同时也可能造成原料中营养物质的损失^[5-8]。臭氧作为一种常用的果蔬采后防控手段最大的优势在于容易在生产中实现,对人员和设备的要求不高,本文主要综述了臭氧防控手段的原理及应用现状,以期为提高果蔬及其加工制品的质量安全,减少果蔬中真菌毒素对人体健康的危害提供理论依据。

2 果蔬污染中常见的真菌毒素及污染现状

2.1 链格孢毒素(*Alternaria* toxin)

链格孢菌(*Alternaria alternata*)是产生链格孢毒素的主要病原菌,是污染农产品最普遍的真菌之一,广泛分布在蔬菜、水果和田间作物中,其可产生70多种次生代谢产物,污染较严重、毒性较强的主要包括5种:交链孢酚(alternariol, AOH)、交链孢酚单甲醚(alternariol monomethyl ether, AME)、细交链孢酮酸(tenuazonic acid, TeA)、交链孢烯(altenuene, ALT)、腾毒素(tentoxin, TEN)。链格孢菌具有腐生寄生以及植物致病性,因此可通过果蔬类作物的

自然孔口侵入而导致果蔬发生腐烂,也可以通过贮藏和运输过程中产生的机械损伤侵入,或健康果蔬与腐烂果蔬相互接触也会发生霉变。已有研究表明:进食受链格孢毒素污染的粮食与人类食管癌高发率密切相关^[9]。最近欧洲食品安全局对食品中链格孢毒素的潜在风险进行评估,研究结果表明,随膳食摄入的链格孢毒素对公众健康存在潜在风险,目前已开始着手制定链格孢毒素的最大残留限量标准^[10]。

2.2 展青霉素(patulin, PAT)

展青霉素的主要病原菌是曲霉属和青霉属中的棒曲霉(*Aspergillus clavatus*)、扩展青霉(*Penicillium expansum*)、展青霉(*P. patulin*)等,是引起苹果、梨及其加工制品腐烂变质的主要有害菌种。与链格孢菌相同,病原菌主要在果蔬采收后贮藏和运输的过程中通过寄主表面的伤口或自然孔口侵入。展青霉素可以引发一系列急性、慢性病症以及细胞水平的病变而对人类健康产生危害^[11]。

2.3 赭曲霉毒素 A(ochratoxin A, OTA)

赭曲霉毒素是由曲霉属和青霉属产生的有毒代谢产物,包括A、B、C、D(α)4种化学结构非常相似的化合物,其中,赭曲霉毒素A(OTA)在自然界中最常见、毒性最强,对人类和动物的健康威胁最大。产赭曲霉毒素的病原菌主要在果蔬采收后贮藏和运输的过程中通过寄主表面伤口或果实之间的相互接触而产毒,主要引起葡萄及其制品如葡萄酒、葡萄汁、葡萄干等污染变质。OTA具有肾毒性,且有一定致癌、致畸、致突变性。2004年国际癌症研究机构(IARC)将其划分为可能的人类致癌物,即2B类物质^[12,13]。

3 果蔬真菌毒素污染现状

果蔬真菌毒素污染情况严重,根据联合国粮食农业组织统计,全世界每年约有2%的农产品因污染严重而失去营养和经济价值,造成数百亿美元的经济损失^[14]。水果蔬菜因含水量较高,在采收、包装、运输、贮藏等过程更容易出现机械损伤,进而更易受到真菌及其毒素的污染。TeA、AME和AOH是在各类水果及其制品、番茄及其制品、小麦及其他谷物、油料种籽及植物油中检出率较高、污染较严重的链格孢毒素^[15,16]。Tournas等^[17]研究了链格孢菌污染的水果在不同温度条件下产生AME和AOH的能力,结果表明葡萄和苹果在低温贮存时可产生AME和AOH,且随着贮藏时间的延长,毒素逐渐累积。果蔬加工制品,如苹果汁、葡萄汁、番茄酱等更易检出链格孢毒素。Zhao等^[18]采集了市场上31份番茄酱样品,对其中的链格孢毒素进行了测定,结果表明所有样品中都有不同程度的链格孢毒素检出,其中TeA、AME及AOH的检出率分别为100%、90.3%和45.2%,而且TeA含量最高可达1.8 mg/kg。

展青霉素是引起梨、苹果发生霉心病的主要病原菌,而且在加工制品生产过程中,并不能完全剔除腐烂变质的果实,还可能用少量腐烂变质的果实直接加工,因此果汁中的毒素检出率较高。富士、国光、黄香蕉苹果中均检测到展青霉素的存在,且随着霉心病病斑直径的增大,展青霉素含量在增加^[19]。María 等^[20]对当地的苹果汁抽样调研,分析了苹果汁样品的展青霉素污染情况,研究表明,大部分样品均有检出,且 10%的样品中展青霉素的含量超过了欧洲限量标准(50 μg/L)。

目前国内外学者对赭曲霉毒素研究最广泛的对象是葡萄果实、葡萄酒、葡萄汁,因为葡萄极易感染赭曲霉,进而产生赭曲霉毒素,其中赭曲霉毒素 A 在自然界中最常见、毒性最强,对人类和动物的威胁最大。Zhang 等^[21]在我国不同地区采集了 119 份葡萄酒样品,并对其中的 OTA 含量进行了测定,结果显示不同地区之间的 OTA 含量存在差异,其中东北部地区 OTA 污染最严重,平均含量为 2.2 ng/mL。现在随着人们生活水平的逐渐提高,葡萄酒不仅是西方国家热衷的饮品,近年来我国对葡萄酒的需要也日益增高,每年都会消费大量的进口葡萄酒。但是葡萄酒里的 OTA 检出率极高,如宁波进口的 84 种来自不同地区的葡萄酒中 OTA 的检出率为 100%^[22]。因此,葡萄及其制品中 OTA 的污染状况应引起我国相关监管部门的重视。

4 臭氧降解技术

针对果蔬中真菌毒素的污染需要一种有效的防控手段,臭氧技术很早就应用于真菌毒素的降解。在常温常压下,臭氧为淡蓝色气体,因其具有较强的氧化能力常被作为强氧化剂,形态不稳定,易分解为氧气,因此,样品经臭氧处理后无残留,不会对环境造成二次污染,是国内外公认的绿色强氧化剂。臭氧防控另外一个优势是可以产业化,相较于其他的防控手段如拮抗微生物、抑菌剂、等离子体等更容易实现。

4.1 影响臭氧降解真菌毒素效果的主要因素

臭氧浓度、处理时间、pH、样品水分含量、大气压力均可显著影响臭氧抑制微生物生长及降解毒素的效果^[23],尤其是臭氧浓度和处理时间,适宜的条件可在最大程度上消除微生物,但条件不适宜会对果蔬的营养品质及感官品质造成消极影响,而且臭氧浓度过高时对人的皮肤、眼睛、黏膜等会有一定的刺激,进而影响人体健康。伍小红等^[24]分别用 0.57 和 1.17 mg/L 两种浓度的臭氧水对红富士苹果清洗处理 10 min,研究表明,用臭氧处理的苹果各项贮藏指标都明显优于未采用臭氧处理的苹果,臭氧水的最佳浓度为 1.17 mg/L。臭氧水可延缓鲜切花椰菜的蛋白质含量、呼吸强度、维生素 C 含量以及失重率的下降,但如果臭氧水浓度过高,鲜切花椰菜的营养成分会有一定损失^[25]。Shynkarykd 等^[26]研究了在不同压力条件下臭氧处理后

菠菜中大肠杆菌的变化情况,结果表明在空气中实施臭氧处理的降解效果显著优于在真空状态下的臭氧处理,这可能是因为在真空状态在一定程度上抑制了微生物细胞活性。此外,该实验还证实了不经过处理的菠菜比经过水喷雾的菠菜的大肠杆菌更易与臭氧发生反应,从而被降解。

4.2 对微生物的抑制作用

臭氧可有效防治果蔬中的真菌污染一方面是对病原微生物的作用,在一定程度上抑制孢子萌发和菌丝生长,进而抑制毒素的产生和积累,另一方面是利用强氧化作用破坏毒素的结构,从而起到降解毒素的效果。研究证明臭氧可杀灭革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌、孢子和营养细胞等,机制比较复杂,是多重作用的结果。臭氧与微生物接触后,氧化细胞表面的不饱和脂肪酸,使细胞内溶物外露,进而使微生物发生溶菌作用而失活。同时,臭氧还大范围的氧化细胞内蛋白质、选择性的氧化细胞内酶系统从而使细胞快速死亡。Kananapalli 等^[27]对大肠杆菌进行臭氧处理,研究其细胞膜组分的变化发现,臭氧首先作用于大肠杆菌细胞膜上的巯基基团。臭氧气体破坏细胞膜改变细胞通透性继而渗入破坏细胞内部的不饱和脂肪酸和酶系统,将蛋白质分解为短肽,这是臭氧杀死微生物的一个重要途径。目前有大量文献报道臭氧对病原微生物的抑制作用,详见表 1。

4.3 对真菌毒素的抑制作用

臭氧降解真菌毒素的大致原理是通过强氧化作用改变真菌毒素的分子结构,导致其生物活性的改变,从而起到解毒作用^[34]。大量研究表明臭氧处理可显著降低粮食谷物中的黄曲霉毒素^[35-37]、单端孢霉烯毒素^[38]、脱氧雪腐镰刀菌烯醇^[35]等的含量。臭氧容易攻击单端孢霉烯类毒素结构中的双键,从而导致其毒性基团破坏,此外臭氧易降解 AFB1 和 AFG1,但 AFB2 和 AFG2 对臭氧则有一定的抵抗作用,可能因为 AFB1 和 AFG1 分子结构的 C-8、9 位存在双键,此双键易与臭氧发生亲电加成反应进而被分解。Franco^[39]研究了臭氧对葡萄汁和苹果汁中展青霉素的影响,结果表明臭氧容易攻击展青霉素中的羟基,从而使展青霉素降解为两个分子物质,展青霉素可以被完全破坏,因此该种方式可以作为工业上消除展青霉素的有效手段。目前关于臭氧技术降解果蔬及其制品中真菌毒素的研究却并未引起重视,报道较少,而且对毒素降解机制及降解产物方面的研究还比较欠缺。

4.4 对果蔬采后品质的影响

生产上常用臭氧处理果蔬的另一大优势是贮藏保鲜,延长果蔬的保质期。果蔬采收后仍然进行生理活动,其中呼吸作用是最主要代谢活动。果蔬在采后贮藏过程中会产生乙烯,加速果蔬成熟,使果肉变软腐烂。臭氧具有强氧化作用,能快速氧化分解乙烯,在一定程度上抑制果蔬的呼

表 1 不同条件下臭氧处理对果蔬中微生物的影响
Table 1 Effects of ozone treatment on microorganisms of fruit and vegetable under different conditions

果蔬种类	处理条件	处理结果	文献
苹果	臭氧气体、臭氧水处理苹果	臭氧气体比臭氧水更有效的降低微生物含量, 最佳处理时间为 3 min	[28]
柑橘、桃、葡萄	水果浸泡在 1.5~10 mg/mL 的臭氧水中, 在 10 °C、20 °C 干燥环境下放置 7~21 d	1.5 mg/mL 的双氧水并未减少青霉和根霉的含量, 但浸泡 1 min 可将褐腐病的发病率由 10.9% 降至 5.4%; 10 mg/mL 的双氧水浸泡 1 min 可将灰霉病的发病率从 35% 降至 10%	[29]
无花果	5 mg/mL、10 mg/mL 臭氧气体处理 3 h、5 h	细菌、霉菌的数量显著减少	[30]
橘子、柠檬	橘子置于 0.3 mg/mL 的臭氧气体中 4 周, 柠檬置于 0.3 mg/mL 的臭氧气体中 9 周 (只在夜晚), 二者继续置于 1 mg/mL 臭氧气体中 2 周	臭氧处理延缓青霉发病一周, 且孢子数量减少或孢子形成受阻	[31]
柑橘	不同浓度的臭氧气体及液体处理柑橘	臭氧处理可显著抑制柑橘青霉菌分生孢子的萌发率, 延迟萌发时间, 抑制菌丝生长、产孢及菌落扩展; 200 mg/m ³ 的臭氧气体熏蒸 40 min 与 7.85 mg/L 的臭氧水处理对柑橘青霉的抑菌效果最好	[32]
芹菜	分别浸泡在浓度为 0.03、0.08、0.18 mg/mL 的臭氧水中 5 min, 并在 4 °C 条件下储存 9 d	储存 9 天后对照中细菌的数量是 6.78 log CFU/g, 而经 0.03、0.08、0.18 mg/mL 臭氧水处理后的细菌数量分别为 5.72, 5.64, and 5.63 log CFU/g	[33]

吸作用, 从而延长果蔬的保鲜时间。此外, 臭氧处理还可能改变可溶性固形物、维生素 C、总酸的含量, 抑制果实多酚氧化酶的活性, 提高果蔬抗氧化能力, 诱导果蔬产生防御体系, 这也在一定程度上增加果实的抗病性, 减少真菌毒素的浸染^[40-42]。

5 存在的问题及展望

果蔬真菌毒素污染问题是全球问题, 目前国内外都在想对策积极应对。在统计文献的基础上发现目前对果蔬加工制品, 如果汁、蔬菜汁、果酱、果干、果酒等制品进行脱毒处理的研究较多, 但对毒素降解的机制及降解产物的安全性分析较少。无论采用哪种手段对果蔬进行脱毒, 都有可能带来负面影响。比如安全问题, 当臭氧浓度或射线强度高时对人体健康有不利影响。果蔬样品经辐照或臭氧处理后, 营养品质或感官品质的变化有待考证。最引人关注的是真菌毒素的降解机制需进一步明确, 产生何种降解产物、降解产物的安全性评价等都将是未来的研究重点。此外, 多种降解技术间的相互配合, 以及与蛋白质工程、酶工程、发酵工程等高新技术的结合将是未来毒素降解的重要发展方向, 以期开发出更安全、节能、高效的脱毒方法。

参考文献

[1] Wang M, Jiang N, Xian H, *et al.* A single-step solid phase extraction for

the simultaneous determination of 8 mycotoxins in fruits by ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2016, 1429: 22-29.

[2] Xue HL, Bi Y, Tang YM, *et al.* Effect of cultivars, *Fusarium* strains and storage temperature on trichothecenes production in inoculated potato tubers [J]. *Food Chem.* 2014, 151(1), 236-242.

薛华丽, 毕阳, 宗元元, 等. 果蔬及其制品中真菌毒素的污染与检测研究进展[J]. *食品科学(网络预发表)*, 2016: 1-8.

[3] Xue HL, Bi Y, Zong YY, *et al.* Progress of mycotoxins contamination and detection in fruits and vegetables and their products [J]. *Food Sci*, 2016: 1-8.

[4] 王蒙, 姜楠, 韦迪哲, 等. 自制固相萃取柱-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定果蔬中的 8 种真菌毒素[J]. *食品科学*, 2016, 10: 213-218.

Wang M, Jiang N, Wei DZ, *et al.* A solid phase extraction-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for the determination of 8 mycotoxins in fruits and vegetables [J]. *Food sci*, 2016, 10: 213-218.

[5] 李萌萌, 关二旗, 卞科. 真菌毒素的臭氧降解研究进展[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2015, 01: 100-105, 112.

Li MM, Guan EQ, Bian K. Research progress on ozone degradation of mycotoxin [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Edit)*, 2015, 01: 100-105, 112.

[6] Samar M, Resnik SL, Gonzalez HHL *et al.* Deoxynivalenol reduction during the frying process of turnover pie covers [J]. *Food Control*, 2007(18): 1295-1299.

[7] Murata H, Mitsumatsu M, Shimada N. Reduction of feed-contaminating

- mycotoxins by ultra-violet irradiation: an in vitro study [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2008, 25(9): 1107–1110.
- [8] Pu L M, Bi Y, Xue H L, *et al.* Degradation of T-2 toxin by submersed glow discharge plasma [C]. *Collected Papers of International Mycotoxin Conference*, 2014.
- [9] 安玉会, 卢荣华, 冯文舟. 林县交链孢霉毒素-交链孢醇单甲醚和交链孢烯的协同毒性和致畸作用研究[J]. *癌症*, 1988, (7): 54–55.
An YH, Lu RH, Feng WZ, *et al.* Alternaria toxins in Linxian-study on synergistic toxicity and teratogenic effects of alternariol and alternariolmonomethyl ether [J]. *Cancer*, 1988, 7: 54–55.
- [10] EFSA on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of Alternaria toxins in feed and food [J]. *EFSA J*, 2011, 9(10): 2407.
- [11] Speijers GJ, Franken MA, Van FX. Subacute toxicity study of patulin in the rat: Effects on the kidney and the gastro-intestinal tract [J]. *Food Chem Toxicol*, 1988, 26(1): 23–30.
- [12] Khoury A, Atoui A. Ochratoxin A. General overview and actual molecular status [J]. *Toxins*, 2010, (2): 461–493.
- [13] 熊科, 支慧伟, 王晓玲. 葡萄酒中赭曲霉毒素 A 的生物降解研究进展 [J]. *中国食品学报*, 2015, 15(10): 170–178.
Xiong K, Zhi HW, Wang XL. Research on the biodegradation of ochratoxin A in wine [J]. *J Chin Inst Food Sci Tec*, 2015, 15(10): 170–178.
- [14] 马帅, 王蒙, 韩平, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法在食品真菌毒素检测中应用的研究进展 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(8): 3021–3024.
Ma S, Wang M, Han P, *et al.* Research advances on application of QuEChERS-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry in mycotoxin analysis in foods [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(8): 3021–3024.
- [15] Sauer DB, Seitz LM, Burroughs R, *et al.* Toxicity of Alternaria metabolites found in weathered sorghum grain at harvest [J]. *J Agric Food Chem*, 1978, 26(6): 1380–1383.
- [16] Logrieco A, Moretti A, Solfrizzo M. Alternaria toxins and plant diseases: an overview of origin, occurrence and risks [J]. *World Mycotoxin J*, 2009, 2(2): 129–140.
- [17] Tournas VH, Stack ME. Production of alternariol and alternariol methylether by *Alternaria alternata* grown on fruits at various temperatures [J]. *J Food Prot J*, 2001, 64(4): 528–532.
- [18] Zhao K, Shao B, Yang DJ, *et al.* Natural occurrence of four Alternaria mycotoxins in tomato-and citrus-based foods in China [J]. *J Agric Food Chem*, 2015, 63: 343–348.
- [19] 刘华峰, 韩舜愈, 盛文军, 等. 腐烂苹果中棒曲霉毒素的分布研究 [J]. *食品科学*, 2010, 31(7): 51–53.
Liu HF, Han YY, Sheng WJ, *et al.* Distribution of patulin in rotten apples [J]. *Food Sci*, 2010, 31(7): 51–53.
- [20] María MA, Susana A, Elena GP, *et al.* Occurrence of patulin and its dietary intake through cider consumption by the Spanish population [J]. *Food Chem*, 2009, 113(2): 420–423.
- [21] Zhang X, Chen L, Li J, *et al.* Occurrence of ochratoxin A in Chinese wines: influence of local meteorological parameters [J]. *Eur Food Res Technol*, 2013, 236: 277–283.
- [22] 陈杰, 莫艳霞, 徐银君, 等. 进口葡萄酒中赭曲霉毒素 A 的含量分析 [J]. *酿酒科技*, 2012, 1: 107–109.
Chen J, Mo YX, Xu YJ, *et al.* Analysis of ochratoxin A content in imported grape wines [J]. *Liquor-Making Sci Tech*, 2012, 1: 107–109.
- [23] Tiwari B, Brennan CS, Curran T, *et al.* Application of ozone in grain processing [J]. *J Cereal Sci*, 2010, 51: 248–255.
- [24] 伍小红, 李建科, 惠伟. 臭氧处理对苹果保鲜的影响研究 [J]. *食品科技*, 2006, (7): 252–254.
Wu XH, Li JK, Hui W. Study on apple preservation by ozone treatment [J]. *Food Sci Technol*, 2006, (7): 252–254.
- [25] 徐春涛, 王瑾. 不同储藏温度条件下臭氧水对鲜切花椰菜保鲜效果的研究 [J]. *河南工业大学学报: 自然科学版*, 2009, 30(3): 41–43.
Xu CT, Wang J. Production of cellulose and xylanase by mixed fermentation of trichoderma koning and rhizopusoryzae [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2009, 30(3): 41–43.
- [26] Shynkaryk MV, Pyatkovskyy TI, Yousef AE, *et al.* Sastry gaseous ozone treatment of baby spinach within the existing production chain for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 [J]. *J Food Eng*, 2016, 191: 10–18.
- [27] Komanapalli IR, Mudd JB, Lau BHS. Effect of ozone on metabolic activities of *Escherichia coli* K-12 [J]. *Toxicol Lett*, 1997, 90: 61–66.
- [28] Achen M, Yousef AE. Efficacy of ozone against *Escherichia coli* O157:H7 on apples [J]. *J Food Sci*, 2001, 66 (9): 1380–1384.
- [29] Smilanick JL, Margosan DM, Mlikota-Gabler F. Impact of ozonated water on the quality and shelf-life of fresh citrus fruit, stone fruit and table grapes [J]. *Ozone Sci Eng*, 2002, 24: 343–356.
- [30] Oztekin S, Zorlugenc B, Zorlugenc FK. Effects of ozone treatment on microflora of dried figs [J]. *J Food Eng*, 2005, 75(3): 396–399.
- [31] Palou L, Smilanick JL, Crisosto CH, Mansour M. Effect of gaseous ozone exposure on the development of green and blue molds on cold stored citrus fruit [J]. *Plant Dis*, 2001a, 85 (6): 632–638.
- [32] 龙君. 臭氧处理对柑橘青霉菌抑制作用及柑橘保鲜效果的研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2013.
Long J. Study on inhibitory effect of ozone on *Penicillium italicum* and effect on refreshing of citrus [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2013.
- [33] Zhang L, Lu Z, Yu Z. *et al.* Preservation fresh-cut celery by treatment of ozonated water [J]. *Food Control*, 2005, 16: 279–283
- [34] He JW, Zhou T, Young JC, *et al.* Chemical and biological transformations for detoxification of trichothecenycomycotoxins in human and animal food chains: a review [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2010, 21: 67–76.
- [35] Diao EJ, Hou HX, Chen B, *et al.* Ozonolysis efficiency and safety evaluation of aflatoxin B₁ in peanuts [J]. *Food Chem Toxicol*, 2013, 55: 519–525.
- [36] Luo XH, Wang R, Wang L, *et al.* Effect of ozone treatment on aflatoxin B₁ and safety evaluation of ozonized corn [J]. *Food Control*, 2014, 37: 171–176.
- [37] Chen R, Ma F, Li PW, *et al.* Effect of ozone on aflatoxins detoxification and nutritional quality of peanuts [J]. *Food Chem*, 2014, 146: 284–288
- [38] Young JC, Zhu HH, Zhou T. Degradation of trichothecene mycotoxins by aqueous ozone [J]. *Food Chem Toxicol*, 2006, 44: 417–424.
- [39] Franco C. Ozone decomposition of patulin A micotoxin and food contaminant [J]. *Sci Eng*, 2008, 30: 197–201.
- [40] 赵晓丹, 傅达奇, 李莹. 臭氧结合气调冷藏对草莓保鲜品质的影响 [J]. *食品科技*, 2015, 06: 24–28.

Zhao XD, Fu DQ, Li Y. Effect of O₃ treatment combined with atmosphere control (CA) on the storage quality of strawberry [J]. Food Sci Technol, 2015, 06: 24–28.

- [41] 陈存坤, 董成虎, 纪海鹏, 等. 臭氧处理对双孢菇采后生理和贮藏品质的影响 [J]. 食品研究与开发, 2015, 17: 155–158.

Chen CK, Dong CH, Ji HP, *et al.* Effect of ozone treatments on storage of post-harvest physiology and storage quality of *Agaricus bisporus* [J]. Food Res Dev, 2015, 17: 155–158.

- [42] 徐维微, 武祥玉, 崔新仪. 臭氧在果蔬生产及采后中的应用 [J]. 天津农业科学, 2016, 06: 56–59.

Xu WW, Wu XY. Application of ozone in fruit and vegetable production and postharvest process [J]. Tianjin Agric Sci, 2016, 06: 56–59.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



姜楠, 硕士, 主要研究方向为农产品质量安全与标准。

E-mail: jiangnan_fx@163.com



冯晓元, 博士, 研究员, 主要研究方向为果品质量与安全。

E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com

“食物过敏与过敏原”专题征稿函

随着科技进步和经济发展, 食品安全受到越来越多人的重视, 食物过敏是引发食源性疾病的重要原因, 已引起广大消费者的普遍关注。食物过敏严重影响着易过敏人群的健康, 由此引发的食物过敏性疾病的发病率明显上升, 已成为影响人类健康最常见的全球性疾病之一。

鉴于此, 本刊特别策划了“食物过敏与过敏原”专题, 由南昌大学中德联合研究院副院长陈红兵教授担任专题主编, 主要以食品工业中食物过敏问题为中心, 围绕**食品过敏危害与致敏机制、食物过敏原的结构与功能、致敏性评价、分析与检测、加工控制、标签标识管理等**发面或您认为有意义的相关领域展开论述和研究, 本专题计划在 2017 年 2 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 本刊编辑部及陈教授特别邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在**2016 年 12 月 31 日前**通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

同时, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsqa@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部