

# 脱氧雪腐镰刀菌烯醇在食品加工中的变化研究进展

常敬华<sup>1\*</sup>, 何志明<sup>1</sup>, 戴四基<sup>2</sup>, 姚仕鑫<sup>1</sup>

1(辽宁工程技术大学 理学院, 辽宁 阜新, 123000) 2(安徽省蚌埠市农技推广中心, 安徽 蚌埠, 233000)

**摘 要** 脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)是最常见的一种污染粮食、饲料和食品的霉菌毒素之一,严重影响人和牲畜的健康。分析粮食从农田到餐桌的生产加工过程 DON 毒素的转移、降解规律,评价不同污染程度的粮食及其制品加工后的健康风险,及通过合理加工降低食品中毒素污染程度,成为保证粮食及其制品食用安全的重要方法。该文主要论述了国内外有关 DON 毒素在食品加工过程中的变化规律,为食品加工提供合理去除 DON 毒素方法并为完善食品中 DON 毒素的安全风险评估提供参考。

**关键词** 脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON);食品加工;真菌毒素

赤霉病(*Fusarium head blight* 或 *Scab*)是危害小麦、大麦、燕麦、黑麦、玉米等禾谷类作物的重要病害,在温暖潮湿地区尤其严重。赤霉病由镰刀菌引起,镰刀菌可产生多种单端孢霉烯族毒素(trichothecene)。根据单端孢霉烯族毒素分子上功能基团的类型,可将其分为 A 和 B 两种类型。目前在粮食作物中存在 20 多种毒素,最主要的是脱氧雪腐镰刀菌烯醇毒素(deoxynivalenol, DON)。食用 DON 毒素后, DON 毒素与脑干后区呕吐中枢的 5-羟色胺受体及多巴胺受体相互作用产生催吐作用,因此又被称为呕吐毒素。DON 毒素的毒性虽较其他真菌毒素毒性小,但其存在广泛,赤霉病大规模爆发时危害严重,已引起了世界各国的普遍重视。

世界上每年大约 6 亿 t 的小麦产量,其中大部分被加工成面粉及其制品,主要面制品包括面包、面条、意大利面、饼干及蛋糕等<sup>[1]</sup>。受 DON 毒素污染的小麦若最终加工为面制品,将会对人民的健康造成严重威胁,尤其在赤霉病高发时期,有可能引起 DON 毒素中毒甚至死亡事件。因此,国内外科研工作者除对 DON 毒素的脱毒技术进行广泛研究外,分析 DON 毒素在食品加工中的变化以及采用合理的加工手段降低 DON 毒素含量保障食品安全也已引起越来越多的重视。因此,本文主要分析了国内外对 DON 毒素在食品加工中变化研究,从而更好地指导 DON 毒素污染的粮食加工,降低 DON 毒素带来的健康风险。

## 1 我国及世界 DON 毒素污染情况

受气候因素和农户个体种植、贮藏方式影响,我国主要粮食作物易受 DON 毒素污染。尤其是南方高温高湿地区、长江中下游地区,梅雨季节有利于霉菌生长及产毒。同样,镰刀菌毒素污染在世界范围内也有广泛发生,RODRIGUES 对美洲、亚洲、欧洲谷物及其制品进行 2009~2011 连续 3 年的毒素污染情况调查,其中, DON 毒素的污染率高达 59%<sup>[2]</sup>。GUAN 检测了中国 83 份 2008 年 11 月到 2009 年 5 月的饲料样品,其中 DON 毒素的平均含量为 1 670.2 μg/kg,发生率为 95.2%<sup>[3]</sup>。

## 2 DON 毒素在食品加工中的变化研究进展

### 2.1 清理

收获后的小麦需要进行预处理,主要为筛分、风选及擦洗等清理过程使病麦与正常小麦分离,达到去除发霉和破损籽粒的目的。病麦的去除或 DON 含量降低程度与病麦形状、大小,相对密度和抗风能力有关。研究发现,分选、筛分和擦洗的每一个过程, DON 含量都有变化。据报道,因高浓度 DON 含量的小麦相对密度较低,通过风选及重力分选可以有效分离高感染的麦粒,但总 DON 的去除率也只有 3.2%<sup>[4]</sup>。根据清理程度的不同,清理后的小麦制粉后 DON 毒素的含量下降 5.5%~19% 或降低小麦中 DON 毒素含量的 20%~30%<sup>[5-6]</sup>。工业化清理过程 DON 毒素含量从毛麦的 2.07 mg/kg 降至净麦的 1.65 mg/kg,降低了 20.16%<sup>[7]</sup>。因 DON 毒素不均匀的分布在籽粒表面,并具有较好的水溶性,擦洗是去除

第一作者:博士,讲师(本文通讯作者, E-mail: cjh2975@sina.com)。  
基金项目:科技部基础性工作专项(2013FY113400);辽宁省教育厅基金(L2015207)资助  
收稿日期:2015-07-03, 改回日期:2015-09-16

DON 毒素有效方法,且 DON 产生菌也会从表面去除<sup>[8]</sup>。BANU 通过对人工污染禾谷镰刀菌的小麦进行深层擦洗,DON 毒素含量降低 34.6%~46.2%<sup>[9]</sup>。戴学敏报道,受 DON 毒素污染的小麦经清理淘洗,除去悬浮物,小麦中毒素含量减少 34%~52%<sup>[10]</sup>。

光电技术不仅用于无损样品毒素的快速分析检测<sup>[11-12]</sup>,越来越多的研究希望能通过光电分选技术达到分离污染籽粒的效果,从而达到去毒的作用<sup>[13]</sup>。如傅里叶近红外(FT-NIR)技术及电子鼻技术等,利用电子鼻技术可以分析谷物中真菌的挥发性代谢产物,DON 毒素含量小于 1 000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  容易并准确的通过电子鼻分析出来,成功率 82.1%<sup>[14]</sup>。利用 FT-NIR 技术建立定性模型,以 DON 含量为 300  $\mu\text{g}/\text{kg}$  为分界线区分空白样品及自然污染小麦,FT-NIR 分选技术使快速、无损、大批量分选技术成为可能。崔贵金分析了赤霉病麦粒及普通麦粒的近红外光谱信息,构建了赤霉病麦粒 NIR 模式判别模型并设计了光电分选设备模型<sup>[15]</sup>。利用傅里叶罗曼光谱技术,主要利用 1064 nm NIR 激发激光降低大麦和小麦中生物荧光的干扰,可将低 DON 含量的籽粒从高含量的谷物中分离出来<sup>[16]</sup>。因此,发展光电分选技术使污染籽粒有效去除,成为降低 DON 毒素含量的重要发展方向。

## 2.2 制粉

干法磨粉:制粉是大多谷物制品加工为食品前的主要加工过程,很多人对此进行了研究。自 1980 年后,世界各国对干法磨粉后 DON 的分布情况作了分析,包括加拿大、美国、韩国、日本、意大利、捷克以及瑞士。由于磨粉后籽粒的各个组分分离,毒素在不同组分间重新分配,但这一过程毒素并没有被破坏。DON 含量最高的部分是胚芽和麸皮部分,由于磨粉过程去掉了小麦籽粒的麸皮层,所得的面粉 DON 含量降低<sup>[5,17]</sup>,毒素含量降低的程度与小麦受污染的程度有关。据报道,因为高水分含量促进镰刀菌的生长和繁殖,长时间润麦可能会提高 DON 的总量。NOWICKI(1988)报道,DON 在碾磨小麦分配依赖于真菌渗透度到小麦籽粒胚乳的程度,而这取决于易感小麦品种,如果渗透率较低,高浓度 DON 会集中在谷物表皮,而在面粉中 DON 含量较低<sup>[18]</sup>。

ZHENG 分析了污染了 DON、雪腐镰刀菌烯醇(NIV)和玉米赤霉烯酮(ZEA)的日本小麦磨粉后的变化情况,分别分析了特级(1B, 1M, 2B 和 2M)、次级(3B 到 3M)及外层麸皮等中毒素含量变化,特级

粉中,DON 和 NIV 降低 4%~74%,ZEA 的去除效果与 DON 和 NIV 不同<sup>[19]</sup>。对意大利小麦研究发现,净麦中 DON 含量是毛麦中的 77%,磨粉后只剩下原含量的 37%<sup>[20]</sup>。陈飞分析了实验磨粉和工业磨粉后 DON 毒素含量变化,磨粉后 DON 毒素含量明显降低,DON 毒素含量仅为籽粒的 30.85%~51.43%<sup>[7]</sup>。以分层碾磨制粉加工赤霉病小麦,全部 13 个组分中都含有 DON,以头、二碾麦皮中含量最高为 1.56%~2.00  $\text{mg}/\text{kg}$ ,分层碾磨使面粉中 DON 的含量比原麦减少了 52.4%<sup>[21]</sup>。因镰刀菌的生长及 DON 毒素的渗透由外向内延伸,同样,毒素浓度由外向内逐渐降低,因此,剥皮制粉及分层碾磨技术将更有助于 DON 毒素的去除。

湿法磨粉:湿磨是玉米的主要碾磨方式,主要用于生产食品级产品如玉米淀粉和葡萄糖浆。单端孢霉烯族毒素是水溶性化合物,因此在浸泡液中和谷蛋白中出现,少量转移至淀粉和糖浆中。由于 DON 容易溶于水,湿法磨粉中,DON 主要转移至溶液中,从而降低了淀粉中 DON 的含量,商品湿磨法工艺淀粉中 DON 含量为初始含量的 30%<sup>[8]</sup>。

## 2.3 焙烤食品

焙烤食品主要包括发酵食品面包、馒头,非发酵食品饼干、蛋糕等,焙烤食品加工的主要特点是需要经过高温处理,高温也成为了 DON 毒素降解或去除的主要因素。由于发酵制品物理和化学反应相对复杂<sup>[22]</sup>,目前面包焙烤对 DON 的影响得出的结论是相互矛盾的<sup>[23-24]</sup>。一部分研究认为,焙烤工艺可降低 DON 毒素的含量<sup>[25]</sup>,根据不同的工艺条件,DON 的含量可降至 24%~71%,其中,烘烤温度、时间、水分含量、面粉的品质和类型以及配方等对 DON 都会产生影响,而焙烤温度和时间具有重要作用<sup>[22,17,26]</sup>。另有研究又认为加工中 DON 相当稳定,即使以 350℃ 焙烤 DON 含量也没有发生显著的变化<sup>[27-28]</sup>。同样发酵对于 DON 毒素含量的变化也不相同,有报道认为发酵过程 DON 含量降低,中试规模焙烤法国和维也纳面包,50℃ 发酵 DON 毒素分别降低 41% 和 56%<sup>[29]</sup>,反之,也有人研究认为发酵对 DON 毒素没有任何影响<sup>[30]</sup>,甚至有发现 DON 在含酵母的产品中 DON 含量会增加<sup>[31]</sup>,这些不一致的结论可能由几个原因引起,例如:酵母对 DON 的降解或酵母吸附作用以及发酵过程其他微生物如乳酸杆菌等对 DON 毒素的降解作用<sup>[29]</sup>;而对于发酵过程中 DON 含量增加的原因可能是 DON 的前体物质或结合物在发酵过程中

发生水解生成游离态 DON,从而增加了 DON 的总量。最近也有研究认为,烘烤后面包中 DON 毒素含量降低,不是以降解产物的形式出现,而是在面包焙烤的过程中形成了新的化合物,例如 DON 与蛋白质的结合态或 DON 与碳水化合物结合,其毒性低于 DON 毒素<sup>[27]</sup>。因此,分析原料及成品中 DON 及 DON 的衍生物及降解产物对于充分了解 DON 毒素在加工中的变化规律具有重要作用。BANU 利用选好的乳酸菌进行酸面包发酵,DON 毒素的含量下降了 58.6%~66.5%,而自然发酵的毒素含量下降了 26.2%~29.1%,焙烤后与发酵后相比,DON 毒素下降 11.4%~15.5%<sup>[9]</sup>。对于面包加工中添加剂的作用,BOYACIO ĞLU 检测结果表明,KBrO<sub>3</sub> 和 L-抗坏血酸无效,但 NaHSO<sub>3</sub> 和 L-半胱氨酸及 (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 可将 DON 降低至 40%<sup>[32]</sup>,但其使用安全性还需进行分析。因此,有效降低面包中 DON 毒素含量的方式除寻找安全的添加剂外,筛选或驯化可降解 DON 毒素的微生物并可直接用于食品发酵成为 DON 脱毒的有效方法。

非酵母发酵的焙烤食品主要有蛋糕和饼干,商业方法焙烤的饼干 DON 去除 35%,在蛋糕加工中,DON 毒素含量下降率高于面包,主要原因是面粉在蛋糕中的比例只有 25% 左右,DON 的浓度受到了其他成分的稀释。在咸饼干的加工中,焙烤阶段是降低 DON 毒素及 DON-3G 含量的最重要阶段<sup>[33]</sup>,曲奇饼干 DON 含量为面粉含量的 61%,梳打饼干为 70%,椒盐脆饼干 DON 的含量为面粉的 111%<sup>[34]</sup>。

很少有人研究食品加工中 DON 毒素的降解或代谢产物。在早期加拿大的研究中,在面包中鉴别出 DON 同分异构体约占 DON 初始含量的 3%~13%。同样的产物在小麦早餐食品中也被鉴别出来,其他焙烤食品研究较少。BRETZ(2006)检测了 43 份热加工食品,其中 32 份检测到 DON,21 份检测到 norDON A,12 份检测到 norDON B 和 10 份检测到 norDON C<sup>[35]</sup>。

## 2.4 面条

由于 DON 毒素易溶于水,研究认为面条及意大利面的加工有助于去除 DON,用 9 个污染 DON 的硬质小麦进行清理、磨粉及意大利细面条的加工及煮制,加工为面条后 DON 含量为初始含量的 33%,煮制后为初始含量的 20%。并随着用水的增加,其去除率增加,其结果与前期研究结果一致,即硬质小麦加工为意大利面后,DON 含量为初始含量的 25% 或更低<sup>[20]</sup>。分析 2 种亚洲类型的面条,包括黄碱挂面

及速食面,其中,DON 的去除率分别为 66.6% 和 43.2%,且不管是煮制还是油炸,黄碱挂面和速食面的 DON 去除率都有显著性差异,碱是存在差异的主要原因,煮制使 DON 去除的主要原因是 DON 进入到面汤中<sup>[1]</sup>。意大利面加工中,干燥和煮制分别使 DON 减少 8% 和 41%<sup>[36]</sup>。研究食品添加剂对汽蒸及油炸速食面 DON 的影响,包括 L-抗坏血酸, L-半胱氨酸及 NaHSO<sub>3</sub>,通过实验优化,得到去除 DON 的最佳条件是 NaHSO<sub>3</sub> 167 mg/kg; L-半胱氨酸 254 mg/kg; L-抗坏血酸 23 mg/kg。感官评价结果表明,其品质与对照相比没有显著性差异,最佳的条件下,DON 去除率为 67%<sup>[37]</sup>。从 DON 溶于水的特性来看,煮制是去除 DON 毒素更有效的方式。

## 2.5 其他

在啤酒加工过程中,大麦浸泡可降低 DON 含量,而发芽过程由于镰刀菌的生长和繁殖,麦芽中 DON 及 DON-3-葡萄糖苷(DON-3-G)增加,尤其是 DON-3-G 增加显著,酿造过程 DON 含量进一步增加,原因是 DON-3-G 在啤酒中转化为 DON。最终,DON 和 ZEA 最多可降低 30%<sup>[38]</sup>。通过 176 份啤酒调查,DON-3-G 在啤酒中广泛存在,甚至超过了 DON,最高为 37 μg/L。除了 DON-3-G,乙酰基 DONs 也广泛存在<sup>[39]</sup>。酿造所用的辅料(玉米糝、糖浆、大米、大麦和小麦)可能会对终产品中的 DON 毒素产生影响,而啤酒花的影响研究较少。

挤压是食品加工主要方式之一,例如早餐食品和小吃。通常来讲,挤压涉及高温和高压。当水分含量为 15%~30%,挤压是有效去除 DON 的方式,DON 标准品在挤压出的玉米糝和宠物食品中是稳定的,在高压蒸汽处理的奶油玉米中,DON 含量降低了 12%<sup>[40]</sup>。用添加了 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的玉米粉(人工添加 DON)(5 mg/kg)进行挤压试验,DON 具有降解作用,玉米淀粉经过挤压处理后,其中的 DON 含量可减少 95% 以上<sup>[41]</sup>,用 HPLC/ELISA 和 MTT 法分析了挤压玉米糝中 DON 的变化情况,结果发现挤压对 DON 具有一定的去除效果<sup>[42]</sup>。

油炸食品也可降低其中的 DON 含量,但尚未获得热处理后 DON 的转化产物,至于 DON 是被分解还是与谷物的其他物质结合依然未知<sup>[43]</sup>。在 169℃, 205℃ 和 243℃ 油炸温度下,DON 的去除率分别为 28% (15 min), 21% (2.5 min) 和 20% (1 min),其降解程度取决于油炸温度和时间<sup>[44]</sup>。

## 3 前景及存在问题

DON 毒素的控制除田间防控、食品及饲料的物理、化学及微生物脱毒外,加工方法不同 DON 毒素的去除效果不同,因此,了解 DON 毒素在食品加工中的变化,对 DON 毒素的安全性评价具有重要作用;对食品进行合理加工,成为保障食品安全,降低 DON 毒性的重要途径。

DON 毒素具有较强的耐高温、耐酸及抗氧化性能,但 DON 毒素易溶于水,在碱性条件及还原剂存在条件下不稳定,因此,食品加工过程中要充分考虑 DON 毒素的性质,并利用其性质选择合适的加工方式,如利用纯碱并加热的方式可显著提高 DON 毒素的降解率,并开展超高压及过热蒸汽等食品加工新技术对 DON 毒素的降解效果研究。

自然界 DON 除以游离态形式存在外,结合态 DON 也广泛存在,如 DON-3-G、乙酰化 DON、半胱氨酸-DON 以及其他可能存在的结合方式<sup>[45]</sup>,在加工过程中可能转化为 DON;DON 毒素在加热、碱性条件下及微生物作用也可发生降解<sup>[46]</sup>,因此除 DON 毒素造成的健康风险外,其他 DON 的存在方式也应引起相应的重视,其在食品加工中的变化和转化带来的潜在风险需进行更多的研究。

## 参 考 文 献

- [1] MOAZAMI F, JINAP S. Influence of noodle processing (industrial protocol) on deoxynivalenol[J]. Food Control, 2011, 22(11): 1 765 - 1 769.
- [2] RODRIGUES I, NAEHRER K. A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feedstuffs and feed [J]. Toxins (Basel), 2012, 4(9): 663 - 675.
- [3] GUAN S, GONG M, YIN Y, et al. Occurrence of mycotoxins in feeds and feed ingredients in China[J]. Journal of Food Agriculture and Environment, 2011, 9(2): 163 - 167.
- [4] YUEN G Y, SCHONEWEIS S D. Strategies for managing *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat [J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 119(1/2): 126 - 130.
- [5] KOSTELANSKA M, DZUMAN Z, MALACHOVA A, et al. Effects of milling and baking technologies on levels of deoxynivalenol and its masked form deoxynivalenol-3-glucoside [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(17): 9 303 - 9 312.
- [6] GIM ÉNEZ I, HERRERA M, ESCOBAR J et al. Distribution of deoxynivalenol and zearalenone in milled germ during wheat milling and analysis of toxin levels in wheat germ and wheat germ oil [J]. Food Control, 2013, 34(2): 268 - 273.
- [7] 陈飞. 加工工艺去除小麦中脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (DON) 的研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012: 32 - 34.
- [8] PESTKA J J, SMOLINSKI A T. Deoxynivalenol: toxicology and potential effects on humans [J]. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 2005, 8(1): 39 - 69.
- [9] BANU I, DRAGOI L, APRODU I. From wheat to sourdough bread: a laboratory scale study on the fate of deoxynivalenol content [J]. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 2014, 6(1): 53 - 60.
- [10] 戴学敏, 何学超. 赤霉病毒素 (DON) 去毒技术的研究 [J]. 粮食储藏, 1992 (4): 36 - 40.
- [11] DVO ŘÁ ČEK V, PROHASKOVÁ A, CHROPOVÁ J. et al. Near infrared spectroscopy for deoxynivalenol content estimation in intact wheat grain [J]. Plant & Soil Environment, 2012, 58(4): 196 - 203.
- [12] Pojić M M, Mastilović J S. Near infrared spectroscopy-advanced analytical tool in wheat breeding, trade, and processing [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(2): 330 - 352.
- [13] de GIROLAMO A, LIPPOLIS V, NORDKVIST E, et al. Rapid and non-invasive analysis of deoxynivalenol in durum and common wheat by Fourier-Transform Near Infrared (FT-NIR) spectroscopy [J]. Food Additives and Contaminants, 2009, 26(6): 907 - 917.
- [14] LIPPOLIS V, PASCALE M, CERVELLIERI S, et al. Screening of deoxynivalenol contamination in durum wheat by MOS-based electronic nose and identification of the relevant pattern of volatile compounds [J]. Food Control, 2014, 37(1): 263 - 271.
- [15] 崔贵金. 赤霉病麦粒光电分选技术研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 52 - 53.
- [16] LIU Y, DELWICHE S, DONG Y. Feasibility of FT - Raman spectroscopy for rapid screening for DON toxin in ground wheat and barley [J]. Food Additives and Contaminants, 2009, 26(10): 1 396 - 1 401.
- [17] KUSHIRO M. Effects of milling and cooking processes on the deoxynivalenol content in wheat [J]. International Journal of Molecular Science, 2008, 9(11): 2 127 - 2 145.
- [18] NOWICKI T, GABA D, DEXTER J, et al. Retention of the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol in wheat during

- processing and cooking of spaghetti and noodles [J]. *Journal of Cereal Science*, 1988, 8(2): 189–202.
- [19] ZHENG Y, HOSSEN S M, SAGO Y, et al. Effect of milling on the content of deoxynivalenol, nivalenol, and zearalenone in Japanese wheat[J]. *Food Control*, 2014, 40(2): 193–197.
- [20] VISCONTI A, HAIDUKOWSKI E M, PASCALE M, et al. Reduction of deoxynivalenol during durum wheat processing and spaghetti cooking [J]. *Toxicology Letters*, 2004, 153(1): 181–189.
- [21] 张慧杰, 王步军. 真菌毒素在小麦类食品加工过程中的消解与转移[J]. *农产品质量与安全*, 2012(3): 59–64.
- [22] BERGAMINI E, CATELLANI D, DALL'ASTA C, et al. Marchelli R., 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 Part a-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2010, 27(5): 677–687.
- [23] GIMÉNEZ I, BLESÁ J, HERRERA M, et al. Effects of bread making and wheat germ addition on the natural deoxynivalenol content in bread [J]. *Toxins (Basel)*, 2014, 6(1): 394–401.
- [24] HAZEL C M, PATEL S. Influence of processing on trichothecene levels [J]. *Toxicology Letters*, 2004, 153(1): 51–59.
- [25] PACIN A, BOVIER E C, CANO G, et al. Effect of the bread making process on wheat flour contaminated by deoxynivalenol and exposure estimate [J]. *Food Control*, 2010, 21(4): 492–495.
- [26] SCUDAMORE K A, HAZEL C M, PATEL S, et al. Deoxynivalenol and other *Fusarium* mycotoxins in bread, cake, and biscuits produced from UK-grown wheat under commercial and pilot scale conditions[J]. *Food Additives and Contaminants Part a-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2009, 26(8): 1 191–1 198.
- [27] SUGITA-KONISHI Y, PARK B J, KOBAYASHI-HATTORI K, et al. Effect of cooking process on the deoxynivalenol content and its subsequent cytotoxicity in wheat products[J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2006, 70(7): 1 764–1 768.
- [28] LANCOVA K, HAJŠLOVA J, KOSTELANSKA M, et al. Fate of trichothecene mycotoxins during the processing: Milling and baking[J]. *Food Additives and Contaminants Part a-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2008, 25(5): 650–659.
- [29] WU L, WANG B. Evaluation on levels and conversion profiles of DON, 3-ADON, and 15-ADON during bread making process[J]. *Food Chemistry*, 2015, 185: 509–516.
- [30] VALLE-ALGARRA F M, MATEO E M, MEDINA A, et al. Changes in ochratoxin A and type B trichothecenes contained in wheat flour during dough fermentation and bread-baking[J]. *Food Additives and Contaminants Part a-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2009, 26(6): 896–906.
- [31] ZHANG H, WANG B. Fates of deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-glucoside during bread and noodle processing[J]. *Food Control*, 2015, 50: 754–757.
- [32] BOYACIO ĞLU, HELTIARACHCHY N S, D'APPOLONIA B L. Additives affect deoxynivalenol (vomitoxin) flour during breadbaking[J]. *Journal of Food Science*, 1993, 58(2): 416–418.
- [33] SUMAN M, MANZITTI A, CATELLANI D. A design of experiments approach to studying deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-glucoside evolution throughout industrial production of wholegrain crackers exploiting LC-MS/MS techniques[J]. *World Mycotoxin Journal*, 2012, 5(3): 241–249.
- [34] VOSS K, SNOOK M. Stability of the mycotoxin deoxynivalenol (DON) during the production of flour-based foods and wheat flake cereal[J]. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2010, 27(12): 1 694–1 700.
- [35] BRETZ M, BEYER M., CRAMER B, et al. Thermal degradation of the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(17): 6 445–6 451.
- [36] BRERA C, PEDUTO A, DEBEGNACH F, et al. Study of the influence of the milling process on the distribution of deoxynivalenol content from the caryopsis to cooked pasta[J]. *Food Control*, 2013, 32(1): 309–312.
- [37] MOAZAMI F, JINAP S, MOUSA W, et al. Effect of food additives on deoxynivalenol (DON) reduction and quality attributes in steamed-and-fried instant noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2014, 91(1): 88–94.
- [38] LANCOVA K, HAJŠLOVA J, POUŠTKA J, et al. Transfer of *Fusarium* mycotoxins and 'masked' deoxynivalenol (deoxynivalenol-3-glucoside) from field barley through malt to beer [J]. *Food Additives and Contaminants*, 2008, 25(6): 732–744.
- [39] KOSTELANSKA M, DZUMAN Z, MALACHOVA A, et al. Effects of milling and baking technologies on levels of

- deoxynivalenol and its masked form deoxynivalenol-3-glucoside[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(17): 9 303 – 9 312.
- [40] CASTELLS M, MARIN S, SANCHIS V, et al. Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: a review [J]. *Food Additives and Contaminants*, 2005, 22(2): 150 – 157.
- [41] CAZZANIGA D, BASILICO J C., GONZALEZ R J, et al. Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2001, 33(2): 144 – 147.
- [42] CETIN Y, BULLERMAN L B. Confirmation of reduced toxicity of deoxynivalenol in extrusion-processed corn grits by the MTT bioassay [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(5): 1 949 – 1 955.
- [43] BULLERMAN L B, Bianchini A. Stability of mycotoxins during food processing[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2007, 119(1/2): 140 – 146.
- [44] SAMAR M, RESNIK S, GONZÁLEZ H, et al. Deoxynivalenol reduction during the frying process of turnover pie covers[J]. *Food Control*, 2007, 18(10): 1 295 – 1 299.
- [45] VIDAL A, SANCHIS V, RAMOS A J, et al. Thermal stability and kinetics of degradation of deoxynivalenol, deoxynivalenol conjugates and ochratoxin A during baking of wheat bakery products[J]. *Food Chemistry*, 2015, 178: 276 – 286.
- [46] ZHANG H, WANG B. Fates of deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-glucoside during bread and noodle processing[J]. *Food Control*, 2015, 50: 754 – 757.

## Recent trends in deoxynivalenol reduction in food processing

CHANG Jing-hua<sup>1\*</sup>, HE Zhi-ming<sup>1</sup>, DAI Si-ji<sup>2</sup>, YAO Shi-xin<sup>1</sup>

1 (Science School, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

2 (Agricultural Technology Promotion Center of Bengbu City, Anhui Province, Bengbu 233000, China)

**ABSTRACT** Deoxynivalenol (DON, vomitoxin), is one of the most common contaminants of cereal grains, food and feedstuff world-wide. DON is mainly produced by *Fusarium graminearum* which causes *Fusarium* head blight disease (scab) in wheat and pink ear rot in corn. DON is resistant to milling, food processing and heating, and easily enters into the human and animal food chains. DON is hazardous and causes health issues to humans and animals. The analysis of DON's transfer, degradation and estimation of health risk in the processing of the grains from farmland to dining-table are critical in supervising the safety of cereal products. This article mainly addressed the variation of DON in food processing stages domestically and abroad, which may provide insight to DON reduction in food production and reference for the DON risk assessment.

**Key words** deoxynivalenol (DON); food processing; mycotoxin