

真菌毒素在小麦类食品加工过程中的消解与转移

张慧杰 王步军

(中国农业科学院作物科学研究所, 农业部谷物品质监督检验测试中心, 北京 100081)

摘要: 食品加工工艺对真菌毒素有明显的影响。本文综述了分类和清理、磨粉、贮藏、发酵以及加热处理等加工措施对小麦中真菌毒素的消解及转移的影响。一般的加工工艺只能降低毒素含量, 无法彻底清除毒素。各类加工措施中, 加热处理对真菌毒素的作用最明显。

关键词: 真菌毒素; 食品加工; 消解转移; 小麦

一、小麦中的真菌毒素及其危害

小麦在生长以及收获后的加工、贮存、运输等各个环节中很容易被真菌污染, 这些真菌在条件适宜时产生真菌毒素 (mycotoxin)。小麦中最常见的真菌毒素有黄曲霉毒素 (aflatoxin, AFL)、赭曲霉毒素 A (ochratoxin, OTA)、伏马毒素 (fumonisin, FUM)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (deoxynivalenol, DON, 亦称呕吐毒素) 和玉米赤霉烯酮 (zearalenone, ZEN) 等。真菌毒素的毒性作用主要包括致畸、致癌、遗传毒性、肝细胞毒性、中毒性肾损害、生殖紊乱和免疫抑制等^[1]。黄曲霉毒素、杂色曲霉毒素 (sterigmatocystin, ST) 等真菌毒素都已经证明是地区性肝癌、胃癌、食道癌的主要诱导物质^[2]; 伏马毒素对人、畜不仅是一种促癌剂, 而且是完全的致癌物; 烟曲霉震颤素 (fumitremorgins, FT) 对动物中枢神经系统有较强的毒性, 可引起动物强烈痉挛而死亡。真菌毒素的致病性, 有时以地方性发病的形态出现。在我国有 4 个肝癌发病中心, 卫生防疫部门调查发现 4 个中心的食品中黄曲霉毒素 B₁ 含量均高^[3]; 河南省林县的食管癌, 地方性大骨节病和克山病等, 均在不同程度上被怀疑与当地居民长期食用被微量镰刀菌毒素污染的自产粮食有关^[4]。食用被真菌毒素污染的小麦及

其制品可造成急性或慢性中毒, 严重威胁人类身体健康^[5-6]。

真菌毒素的性质是比较稳定的, 在加工中很难被破坏, 导致小麦最终食品被真菌毒素污染^[7]。在欧洲最南端的一些国家, 面包是人们日常饮食中摄入赭曲霉毒素 A 的最主要来源之一^[8-9]; 对小麦类零售食品和饮料的监测表明, 单端孢霉烯族类 (trichothecenes) 真菌毒素在加工过程中一直存在^[10]。因此, 在人们密切关注食品卫生质量和安全的今天, 真菌毒素对小麦及其制品的污染已成为不可忽视的问题。我国于 2011 年颁布了新修订的真菌毒素国家标准, 即 GB 2761-2011《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》, 该标准对小麦及其相关制品中真菌毒素 (黄曲霉毒素 B₁、赭曲霉毒素 A、脱氧雪腐镰刀菌烯醇和玉米赤霉烯酮) 制定了限量指标^[11], 已成为我国各级政府、质检机构监管食品中真菌毒素的有力依据^[12]。如何有效地控制真菌毒素的产生, 在生产加工环节降低真菌毒素的含量, 建立完善的真菌毒素限量标准, 已成为当今农产品生产、食品加工和健康领域研究的热点。

二、加工工艺对小麦原料及食品中真菌毒素的影响

小麦加工过程包括分类、清理、磨粉、发酵,

作者简介: 张慧杰 (1986—), 从事农产品质量安全研究。E-mail: zhj439389793@126.com。王步军 (1960—), 研究员, 博士生导师, 主要从事农产品质量安全与检测技术研究。E-mail: wangbj@caas.net.cn (通讯作者)。

以及蒸煮、焙烤、油炸、烧烤、挤压等加热处理。加工措施会影响小麦原料及最终产品中真菌毒素的含量及活性^[10]。有研究报道, 赭曲霉毒素 A 的膳食暴露取决于很多因素, 其中食品加工措施起着非常重要的作用^[13]。食品加工措施能够有效破坏毒素或使毒素在食品中重新分布^[14]。Araguás 等人研究了降低小麦中赭曲霉毒素 A 含量的加工条件和程度^[15]。通常加工手段能够显著降低毒素的浓度, 但不能完全消除。Moazami-Farahany 和 Jinap 报道, 速食面中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的含量在加工过程中逐步降低^[16]。Arroyo 等人报道, 面包中的毒素在加工中有一部分被去除^[17]。Pacin 等人报道, 将面粉加工成法国面包和维也纳面包, 脱氧雪腐镰刀菌烯醇的含量分别降低了 33% 和 58.5%^[18]。下面就不同的加工措施分别论述。面粉贮藏作为小麦原料向小麦加工制品转变中不可避免的环节也一并予以论述。

(一) 分类和清理 分类和清理可降低小麦中真菌毒素的含量^[19~20]。清理能够除去内部发霉和坏掉的颗粒, 好的原料有助于降低毒素的浓度^[21]。Abbas 等人报道, 清除生虫的小麦, 在制粉时可使脱氧雪腐镰刀菌烯醇的含量下降 5.5%~19%^[22]。清洗也可降低小麦中真菌毒素的含量。韩国小麦和美国小麦中真菌毒素含量降低的程度与清洗时间成比例^[23]。然而, 这些处理均不能破坏毒素。

(二) 磨粉 在磨粉工艺中, 毒素可以集中在某一小部分, 也可以被重新分配, 但这一过程并不能破坏毒素。在干法磨粉中, 毒素可能集中于胚芽和糠层^[20,22,24,25]。因此, 将小麦的糠层去掉可降低毒素含量^[19,26,27]。毒素含量降低的程度取决于污染程度^[27]。同样, 干的小麦粉、大麦粉和其他谷物粉中, 含黄曲霉毒素、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮和赭曲霉毒素较高的部分很少用来加工食品^[20,22,25,28]。陆刚等以“分层碾磨”制粉新工艺加工赤霉病小麦, 全部 13 个组分中都含有脱氧雪腐镰刀菌烯醇, 以头、二碾麦皮中含量最高, 为 15 600~20 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 最终产品富养 2 号粉、次粉和后麸皮中毒素含量在 1 700~2 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 新工艺制粉, 使面粉中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的含量比原麦减少了 52.4%^[29]。戴学敏和何学超报道, 受脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染的小麦经清理淘洗, 除去悬浮物, 小麦中毒素含量可从原来的 2.3 mg/kg 降至 1.1 mg/kg , 从 1.2 mg/kg 降至 0.79 mg/kg , 分别减少 52% 和 34%; 经过淘洗处理后, 小麦损失 6% 左右, 清洗后的小麦磨成面粉, 又分别使脱氧

雪腐镰刀菌烯醇含量从 1.1 mg/kg 降至 0.58 mg/kg , 从 0.79 mg/kg 降至 0.48 mg/kg ; 因此, 毒素含量低的 (2 mg/kg 左右) 污染小麦经过清理淘洗和制粉, 可以除去 60%~70% 的毒素^[30]。谢茂昌和王明祖报道, 磨粉后麸皮的 DON 含量比小麦籽粒的含量增加了 48.3%~51.5%, 平均增加 49.9%。武昌小麦籽粒的 DON 含量只有 1 444.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 机械加工后麸皮的 DON 含量达到了 2 142.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 超过 2 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 但小麦经加工去皮后, 面粉中的 DON 含量并不比小麦的含量下降许多, 只减少了 9.6%~15%, 平均减少 12.3%, 加工后两种类型小麦的面粉中 DON 含量都超过 1 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 小麦的加工去皮仅去除 23.6%~37.4% 的毒素, 说明机械加工法去毒效果较差^[31]。

(三) 贮藏 面粉是复杂的有机物质与微生物的混合物。由于水分含量较低, 面粉在正常条件下贮藏时, 微生物并不活跃; 但全麦面粉的微生物菌落数量较高, 谷物表面的微生物在磨粉过程中进入面粉^[32~33]。Ales 等人报道, 微生物孢子在水分含量低于 12% 的条件下贮藏时不能生长和繁殖, 处于休眠状态; 全麦面粉的微生物含量高于工业面粉, 麦麸中大量的微生物孢子和酶混于胚乳中^[34]。磨粉技术会影响面粉及焙烤产品中微生物菌落的数量和活性^[32]。刚磨完的面粉中细菌孢子的数量可达每 g 几十万个^[33,35]。面粉在贮藏过程中会发生许多化学变化, 如酯酶和蛋白酶引起的面粉氧化酸败, 反应产物能够与真菌毒素相互作用, 改变其化学及生物特性。Ales 等人报道, 贮藏期间, DON 和 NIV (雪腐镰刀菌烯醇) 的浓度在贮藏后期要低于 (1%~29%) 贮藏初期; NIV 含量降低的比率要高于 DON; 同时, 贮藏过程中 DON 和 NIV 的含量并不取决于面粉种类和储藏温度, 而在很大程度上取决于包装材料, 将面粉保存于纸袋中, 贮藏于 25℃ 条件下, 毒素有最大程度的降低。因此, 面粉贮藏过程中真菌毒素会缓慢分解, 但通常情况下, 面粉贮藏和陈化时间都较短, 真菌毒素的降解程度达不到显著水平。对一些有机焙烤食品而言, 全麦面粉的加工是不经陈化和发酵的, 而其他类的面粉在使用前须经陈化; 有机全麦面粉在陈化过程中的动态变化与标准工业面粉是相似的, 但不完全相同^[34]。面粉陈化过程中发生的复杂变化受面粉类型、贮藏条件、包装材料、微生物活性及许多其他因素的影响^[36~37]。工业磨粉中, 加入的化学药品如漂白剂会加快面粉陈化速度。

(四) 发酵 发酵通常与清理、浸泡、磨粉、

烹饪等其他加工工序相结合。El-Banna 和 Scott 报道, 发酵能有效降低面粉中黄曲霉毒素的含量, 利用酵母发酵能够使小麦或面包中黄曲霉毒素 B₁ 的含量降低 19% [38]。相似报道还有很多 [39]。Valle-Algarra 等人报道, OTA 的降低与发酵过程中的特定菌种有关 [13]。因此, 发酵可以作为控制食品和饮料中 OTA 含量的可能方式 [19,25]。参与发酵过程的真菌如米根霉和少孢根霉能够降低环戊酮的含量, 而环戊酮会生成黄曲霉毒醇 A。这是一个可逆反应。在一定条件下 (如有机酸存在时), 黄曲霉毒醇 A 被不可逆地转变为立体异构体黄曲霉毒醇 B, 黄曲霉毒醇 B 的毒性要比黄曲霉毒素 B₁ 弱 18 倍, 在乳酸发酵的条件下 (pH≤4.0), 黄曲霉毒素 B₁ 被很容易地转变成毒性更弱的黄曲霉毒素 2 a [40]。以上反应能够降低黄曲霉毒素的毒性, 但不能完全脱毒 [41]。只有破坏了黄曲霉毒素的内酯环才能达到完全脱毒。黄曲霉毒素的内酯环被打破, 其在 366 nm 下的荧光就会减弱, 两者是相一致的 [40], 这已被用作一项筛选工具。Bol 和 Smith 利用这一技术筛选根霉属菌种, 这些菌种能够将 85% 以上的黄曲霉毒素 B₁ 降解为不产生荧光的物质 [42]。Kanittha 也曾利用这一技术筛选过能够降解黄曲霉毒素 B₁ 的菌株 [43]。其他毒素如杂色曲霉毒素、赭曲霉毒素 A、展青霉素、玉米赤霉烯酮、T-2 毒素、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、蛇形毒素等的生物脱毒也有研究。但研究得最详细的还是黄曲霉毒素。大部分真菌毒素如玉米赤霉烯酮、赭曲霉毒素 A、T-2 毒素、脱氧雪腐镰刀菌烯醇和蛇形毒素等都可被瘤胃微生物显著降解 [44]。在某些瘤胃微生物中存在能够降解真菌毒素的酶系, 可以将这些酶系克隆至其他发酵微生物中发挥作用。发酵过程中一些微生物确实有助于降低原料中真菌毒素的含量, 但微生物作用的机制还不清楚 [40]。长期来看, 防止真菌毒素对原料的污染是减少真菌毒素危害的最好措施 [44]。发酵并不能作为消除小麦中真菌毒素的最有效方式, 但其潜在的功能不容忽视。另有报道指发酵对黄曲霉毒素并无作用 [45]。发酵过程中还会产生少量毒素, 如生物胺和氨基甲酸乙酯 [41]。

(五) 加热处理 加热处理包括一般的蒸煮、烘烤、油炸、烧烤和罐装等。挤压也是一种加热处理。焙烤、蒸煮和挤压在高温下 (高于 150℃) 能降低毒素的浓度, 对减少毒素含量有较好的作用。但热处理的温度对毒素含量降低的程度有较大的影响。Samar 等人研究了受真菌毒素污染的小麦面团经过不同温度油炸后脱氧雪腐镰刀菌烯醇含量的变

化, 结果表明, 在 169℃、205℃和 243℃3 个温度下, 脱氧雪腐镰刀菌烯醇的含量分别降低 28%、21%和 20%, 其降低的程度取决于油炸温度 [46]。一般的饼干和面包经过烘烤, 脱氧雪腐镰刀菌烯醇可以分别减少 35%和 24%~71%, 但是埃及面包中的脱氧雪腐镰刀菌烯醇经烘烤后却没有减少 [28]。尽管高温处理可以减少毒素含量, 但大部分毒素在许多食品加工工艺中还是稳定的, 尤其是 OTA, 热稳定性较强, 因此常出现在小麦最终制品中 [47~48]。OTA 在加工饼干的过程中有 2/3 被固定或破坏 [47]。这是因为加工饼干的温度较高, 而且饼干的水分含量也较低。早餐谷物食品的加工也是如此 [49]。

挤压通常用于生产有纹理的食品、点心和早餐麦片。挤压可以升高温度 [50]。挤压工艺或者挤压过程可以使产品中毒素的稳定性降低或含量减少。已有学者研究了挤压处理对伏马毒素和黄曲霉毒素的影响 [51]。150℃以上的挤压处理能够显著降低玉米赤霉烯酮的含量, 有效降低黄曲霉毒素的含量, 少量降低脱氧雪腐镰刀菌烯醇和伏马毒素的含量。伏马毒素的含量在 160℃或稍高温度, 同时有葡萄糖存在下得到最大程度的降低。挤压产品中毒素的减少也与原料湿度、挤压时间、挤压温度和旋转速度等有关。其中, 挤压温度和停留时间这两个因素的影响最大。毒素含量减少最多的产品是在 160℃、挤压时间较长的情况下生产的。Cheftel 和 Hameed 研究了水分含量、温度和添加剂对挤压产品中黄曲霉毒素含量的影响 [52~53]。Hameed 报道, 单纯的挤压可以使黄曲霉毒素的含量降低 50%~80%, 若是添加重碳酸盐 (0.4%)、氨水或者氢氧化物 (0.7%或者 1.0%), 可以使黄曲霉毒素的含量降低 95% [53]。Scudamore 等人研究了挤压处理对 OTA 稳定性的影响, 研究发现, 高水分含量和高温导致了 OTA 的降解 [54]。延长挤压时间也会降低其含量, 但不超过 40% [47]。

三、结论及展望

食品加工措施会对小麦中的真菌毒素产生影响。分类和清理可以降低小麦中真菌毒素的含量。磨粉工艺可以稀释或者将毒素集中于某一部分, 通常将这部分用于动物饲料。面粉贮藏过程中真菌毒素会缓慢分解, 但通常情况下, 面粉贮藏和陈化时间都较短, 真菌毒素的降解程度达不到显著水平; 同时, 包装材料对真菌毒素的含量有一定影响。发酵对真菌毒素的降解作用与特定的微生物菌种有

关,因此,筛选具有降解功能的真菌及瘤胃微生物非常关键;发酵虽不能作为消除小麦中真菌毒素的最有效方式,但其潜在功能不容忽视。高温处理对真菌毒素有显著的影响,是目前降低真菌毒素含量的最有效措施。一般的加工工艺只能降低毒素含量,无法彻底清除毒素。大部分真菌毒素在大部分加工工艺中还是稳定存在的。目前而言,从源头上控制真菌毒素的产生是减少其危害的最有效措施。

尽管不同加工手段对小麦中真菌毒素含量影响的研究较多,但很少有研究系统地关注连续的生产加工措施对真菌毒素含量的影响。Ncira 等人研究了小麦面团经发酵和烘焙后 DON 含量的变化,结果表明,发酵、烘焙后小麦面团中 DON 的含量分别降低 21.6% 和 28.9%^[55]。有研究报道, DON 的含量在硬质小麦磨粉过程中有效地减少,在加工成面条以及烹饪过程中进一步降低^[56]。Angelo 等人报道,硬质小麦加工成意大利面后 DON 含量有所降低,其中清理、磨粉、面条加工、烹饪等各环节分别占 23%、63%、67% 和 80%,小麦中 DON 的含量在加工成面团后降低至 25% 以下^[57]。上述研究结果表明,发酵、烘焙、煮制等加工措施可以在一定程度上降低 DON 的含量。以上的研究仅关注了小麦制成食品的全部链条中的某一个或几个环节,对加工、制作成最终食品的整个生产链条中小麦真菌毒素的降解、转移行为规律尚不清楚,且只针对 DON 做了研究,对其他真菌毒素的研究尚未有报道。

小麦是我国人民的主粮,小麦最终加工制品如馒头、面条是人们餐桌上的主食。受不同含量水平真菌毒素污染的小麦最终加工成馒头、面条是否可以作为安全的食品为人们食用,是消费者、食品加工企业以及国家食品安全卫生监督部门关注的重点,也是科学研究亟需解决的问题。探索小麦整个生产加工链条中真菌毒素的降解、转移规律,以及受不同程度真菌毒素污染的小麦及其制品的风险及危害评价指标的建立,成为保证小麦及其制品食用安全的重要依据,也是今后研究的一个方向。

参考文献

- [1] 陈丽星. 真菌毒素研究进展. 河北工业科技, 2006, 23 (20): 124-126.
- [2] Daniel E V, Jimmy D B. Clostridium difficile toxins: Mechanism of action and role in disease. Clinical Microbiology Reviews, 2005, 18 (2): 247-263.
- [3] 魏丽莉. 黄曲霉毒素对食品的污染及防治措施. 粮油加工, 2008 (9): 86-88.
- [4] 彭双清, 罗毅, 杨进生等. 镰刀菌毒素的系统提取分离分析及其毒理学的研究. 医学研究通讯, 2000, 29(1): 25.
- [5] 白小芳. 真菌毒素在食品加工过程中的变化规律. 农产品加工, 2010 (8): 68-74.
- [6] 计成, 许万根, 马秋刚. 霉菌毒素与饲料食品安全. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [7] Molinié A, Faucet V, Castegnaro M, et al. Analysis of some breakfast cereals on the French market for their contents of ochratoxin A, citrinin and fumonisin B1; development of a method for simultaneous extraction of ochratoxin A and citrinin. Food Chemistry, 2005, 92: 391-400.
- [8] Bento J M V, Pena A, Lino C M, et al. Determination of ochratoxin A content in wheat bread samples collected from the Algarve and Bragança regions, Portugal: winter 2007. Microchemical Journal, 2009, 91: 165-169.
- [9] Duarte S C, Bento J M V, Pena A, et al. Ochratoxin A exposure assessment of the inhabitants of Lisbon during winter 2007/2008 through bread and urine analysis. Food Additives and Contaminants, 2009, 26: 1411-1420.
- [10] Clare M H, Sue P. Influence of processing on trichothecene levels. Toxicology Letters 2004, 153: 51-59.
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB 2761-2011 食品安全国家标准食品中真菌毒素限量. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [12] 李为喜, 孙娟, 董晓丽等. 新修订真菌毒素国家标准与 CAC 最新限量标准的对比与分析. 现代农业科技, 2011, 23: 41-43.
- [13] Valle-Algarra F M, Mateo E M, Medina Á, et al. Changes in ochratoxin A and type B trichothecenes contained in wheat flour during dough fermentation and breadbaking. Food Additives and Contaminants, 2009, 26: 896-906.
- [14] Visconti A, De-Girolamo A. Fusarium mycotoxins in cereals: storage, processing and decontamination. In: Sholten et al. (Eds.), Food Safety of Cereals: A Chain-Wide Approach to Reduce Fusarium mycotoxins. European Commission, Brussels, 2002, 29-40.
- [15] Araguás C, González-Peñas E, López de Cerain A. Study on ochratoxin A in cereal-derived products from Spain. Food Chemistry, 2005, 92: 459-464.
- [16] Moazami-Farahany E, Jinap S. Influence of noodle processing (industrial protocol) on deoxynivalenol. Food Control, 2011, 22: 1765-1769.

- [17] Arroyo M, Aldred D, Magan N. Environmental factors and weak organic acid interactions have differential effects on control of growth and ochratoxin A production by *Penicillium verrucosum* isolates in bread. *International Journal of Food Microbiology*, 2005, 98: 223–231.
- [18] Pacin A, Ciancio-Bovier E, Cano G, et al. Effect of the bread making process on wheat flour contaminated by deoxynivalenol and exposure estimate. *Food Control* 2010, 21: 492–495.
- [19] González-Osnaya L, Soriano J M, Moltó J C, et al. Dietary intake of ochratoxin A from conventional and organic bread. *International Journal of Food Microbiology*, 2007, 118: 87–91.
- [20] Park D L. Effect of processing on aflatoxin. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2002, 504: 173–179.
- [21] Lloyd B Bullerman, Bianchini A. Stability of mycotoxins during food processing. *International Journal of Food Microbiology* 2007, 119: 140–146.
- [22] Abbas H K, Mirocha C J, Pawlosky R J, et al. Effect of cleaning, milling, and baking on deoxynivalenol in wheat. *Applied and Environmental Microbiology*, 1985, 50 (2): 482–486.
- [23] Jun-Ho Hwang, Kwang-Geun Lee. Reduction of aflatoxin B₁ contamination in wheat by various cooking treatments. *Food Chemistry*, 2006, 98: 71–75.
- [24] Brera C, Debegnach F, Grossi S, et al. Effect of industrial processing on the distribution of fumonisin B₁ in dry milling corn fractions. *Journal of Food Protection*, 2004, 67 (6): 1261–1266.
- [25] Scudamore K A, Banks J, MacDonald S J, et al. Fate of ochratoxin A in the processing of whole wheat grains during milling and bread production. *Food Additives and Contaminants*, 2003, 20 (12): 1153–1163.
- [26] Cabañas R, Bragulat M R, Abarca M L, et al. Occurrence of *Penicillium verrucosum* in retail wheat flours from the Spanish market. *Food Microbiology* 2008, 25: 642–647.
- [27] Visconti A, Hidukowski E M, Pascale E, et al. Reduction of deoxynivalenol during durum wheat processing and spaghetti cooking. *Toxicology Letters*, 2004, 153: 181–189.
- [28] Scott P M, Kanhere S R, Dexter J E, et al. Distribution of DON during the milling of naturally contaminated hard red spring wheat and its fate in baked products. *Food Additives and Contaminants*, 1984, 1 (4): 313–323.
- [29] 陆刚, 高永清, 薛英. “分层碾磨”制粉法去除小麦中“致吐毒素”的研究. *中国粮油学报*, 1996, 11 (5): 29–32.
- [30] 戴学敏, 何学超. 赤霉病毒素 (DON) 去毒技术的研究. *粮食储藏*, 1992 (4): 36–39.
- [31] 谢茂昌, 王明祖. 用化学方法脱除赤霉病麦毒素的研究. *粮食储藏*, 1999, 28 (6): 37–40.
- [32] Berghofer L K, Hocking A D, Miskelly D, et al. Microbiology of wheat and flour milling in Australia. *International Journal of Food Microbiology*, 2003, 113: 137–149.
- [33] Lugauskas A, Raila A, Railiene M, et al. Toxic micromycetes in grain raw material during its processing. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2006, 13: 147–161.
- [34] Ales K, Andrej S, Stanislav V, et al. Fate of deoxynivalenol and nivalenol during storage of organic whole-grain wheat flour. *Journal of Stored Products Research*, 2010, 46: 66–71.
- [35] Weidenborner M, Wieczorek C, Appel S, et al. Whole wheat and white wheat flour—the mycobiota and potential mycotoxins. *Food Microbiology*, 2000, 17: 103–107.
- [36] Cenkowski S, Dexter J E, Scanlon M G. Mechanical compaction of flour: the effect of storage temperature on dough rheological properties. *Canadian Agricultural Engineering*, 2000, 42: 5.1–5.6.
- [37] Nishio Z, Takata K, Ito M, et al. Relationship between physical dough properties and the improvement of breadmaking quality during flour aging. *Food Science and Technology Research*, 2004, 10: 208–213.
- [38] El-Banna A A, Scott P M. Fate of mycotoxins during processing of foodstuffs. I. Aflatoxin B₁ during making of Egyptian bread. *Journal of Food Protection*, 1983, 46 (4): 301–304.
- [39] Holzapfel W. Use of starter cultures in fermentation on a household scale. Background paper prepared for WHO/FAO Workshop: 'Assessment of fermentation', Pretoria, South Africa, 1995.
- [40] Andrew W, Alan R, Zoe B. Review of the effect of fermentation on naturally occurring toxins. *Food Control*, 1997, 8 (5/6): 329–339.
- [41] Nout M J R. Fermented foods and food safety. *Food Research International*, 1994, 27: 291–298.
- [42] Bol J, Smith J E. Biotransformation of aflatoxin. *Food*

- Biotechnology, 1989, 3: 27-144.
- [43] Kaniitha S. Kan khat luak chuara ti salai san aflatoxin (Degradation of aflatoxin by selected molds) Report, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 1990.
- [44] Smith J E, Lewis C W, Anderson J G, et al. Mycofoxins in human nutrition and health. European Union Directorate-General XII Report 16048EN, 1994.
- [45] Jespersion L, Halm M, Kpodo K, et al. Significance of yeasts and moulds occurring maize dough fermentation for 'kenkey'. International Journal of Food Microbiology, 1994, 24: 239-248.
- [46] Samar M, Resnik S L, González H H L, et al. Deoxynivalenol reduction during the frying process of turnover pie covers. Food Control, 2007, 18: 1295-1299.
- [47] Bullerman L B, Bianchini A. Stability of mycotoxins during food processing. International Journal of Food Microbiology, 2007, 119: 140-146.
- [48] Czerwiecki L, Czajkowska D, Witkowska-Gwiazdowska A. On ochratoxin A and fungal flora in polish cereals from conventional and ecological farms-part 1: occurrence of ochratoxin A and fungi in cereals in 1997. Food Additives and Contaminants, 2002, 19: 470-477.
- [49] JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), 2001. Safety Evaluation of Certain Mycotoxins in Food. WHO Food Additives Series 47; FAO Food and Nutrition Paper 74. Retrieved August 10, 2008 from: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v47je 01.htm>.
- [50] Linko P, Linko Y Y, Olkku J. Extrusion cooking and bioconversions. In: Jowitt, R. (Ed.), Extrusion Cooking Technology. Elsevier Applied Science Publishers, London, 1984, 143-157.
- [51] Meister U. Investigations on the change of fumonisin content of maize during hydrothermal treatment of maize. Analysis by means of HPLC methods and ELISA. European Food Research and Technology, 2001, 213: 187-193.
- [52] Cheftel J C. Extrusion cooking and food safety. In: Mercier, C., et al. (Eds.), Extrusion Cooking. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, 1989, 435-461.
- [53] Hameed H G. Extrusion and chemical treatments for destruction of aflatoxin in naturally contaminated corn. PhD thesis, University of Arizona, 1993.
- [54] Scudamore K A, Banks J N, Guy R C E. Fate of ochratoxin A in the processing of whole wheat grain during extrusion. Food Additives and Contaminants, 2004, 21: 488-497.
- [55] Ncira M S, Patina A M, Martinez E J, et al. The effects of bakery processing on natural deoxynivalenol contamination. International Journal of Food Microbiology, 1997, 37: 21-25.
- [56] Nowicki T W, Gaba D G, Dexter J E, et al. Retention of the Fusarium mycotoxin deoxynivalenol in wheat during processing and cooking of spaghetti and noodles. Journal of Cereal Science, 1988, 8: 189-202.
- [57] Angelo V, Edith Miriam H, Michelangelo P, et al. Reduction of deoxynivalenol during durum wheat processing and spaghetti cooking. Toxicology Letters, 2004, 153: 181-189.

(上接第 58 页)

- of Agricultural Economists, 2008.
- [6] 玛丽恩·内斯特尔著 (程池, 黄宇彤等译). 食品安全: 令人震惊的食品行业真相. 北京: 社会科学文献出版社, 2004.
- [7] Rousseau D M, Sitkin S B, Burt R S, et al. Not so different after all: A cross-discipline view of trust. Academy of management review, 1998, 23 (3): 393-404.
- [8] Levin D Z, Cross R, Abrams L C. The strength of weak ties you can trust: the mediating role of trust in effective knowledge transfer. Management Science, 2004, 50 (11): 1477-1490.
- [9] Gefen D, Karahanna E, Straub D W. Trust and TAM in online shopping: An integrated model. Mis Quarterly, 2003, 27 (1): 51-90.
- [10] Shapiro J. The downside of managed mental health care. Clinical Social Work Journal, 1995, 23 (4): 441-451.