

# 小麦粉污染霉菌的分离鉴定及产黄曲霉毒素能力的研究

李慧<sup>#\*</sup>, 胡梦龙<sup>#</sup>, 蔡军, 傅洋, 石嵩, 刘冬雪

(中粮营养健康研究院, 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209)

**摘要:** **目的** 对污染小麦粉中所含霉菌进行分离和菌株鉴定, 并对所分离菌株的产黄曲霉毒素能力进行评价。**方法** 使用马铃薯-葡萄糖琼脂培养基和麦汁琼脂培养基对小麦粉污染的霉菌进行分离和纯化, 根据菌落形态、显微形态观察和 ITS 序列分析结果对分离菌株进行鉴定, 采用 PCR 技术检测黄曲霉合成路径的关键基因来判断菌株的潜在产毒能力, 最后用高效液相色谱法确认菌株是否产毒。**结果** 共分离出 5 株菌株, 分别鉴定为链格孢霉(NHF1)、橘灰青霉(NHF2)、黑曲霉(NHF3)和米曲霉(NHF4、NHF5), 其中 2 株米曲霉具有潜在的产黄曲霉毒素的能力, 在一定条件下会产生黄曲霉毒素。**结论** 需要加强小麦粉微生物检测, 尤其是霉菌污染的检测、管理和控制, 全面制定小麦粉中污染微生物的限量标准, 尤其是霉菌的限量值。

**关键词:** 小麦粉; 霉菌; 黄曲霉毒素

## Isolation, identification and appraisal of aflatoxin-producing ability of molds from contaminated wheatmeal

LI Hui<sup>#\*</sup>, HU Meng-Long<sup>#</sup>, CAI Jun, FU Yang, SHI Song, LIU Dong-Xue

(Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing Key Laboratory of Nutrition, Health & Food Safety, Beijing 102209, China)

**ABSTRACT: Objective** To isolate and identify the molds from contaminated wheatmeal, and to evaluate aflatoxin-producing ability of the molds. **Methods** The molds from contaminated wheatmeal were isolated and purified by PDA (the potato-glucose agar) medium and wortagar medium, then were identified according to colony morphology and microscopical morphology together with ITS sequence analysis results. The potential of aflatoxin-producing ability was judged by detecting the key genes in aflatoxin synthesis pathway with PCR, and then was confirmed by detecting the metabolite with HPLC (high performance liquid chromatography). **Results** Totally 5 strains were isolated and identified as *Alternaria alternate* (NHF1), *Penicillium avariantigriseum* (NHF2), *Aspergillus niger* (NHF3), and *Aspergillus oryzae* (NHF4, NHF5). Two of *Aspergillusoryzae* had potential aflatoxin-producing ability and were able to produce aflatoxin under certain conditions. **Conclusion** The microbiological detection of wheatmeal need to be paid more attention especially

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAK08B04-01)

**Fund:** Supported by the National Science and Technology Pillar Program during the 12th Five-Year Plan Period (2012BAK08B04-01)

<sup>#</sup>李慧、胡梦龙为共同第一作者

<sup>#</sup>LI Hui and HU Meng-Long are co-first authors.

\*通讯作者: 李慧, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品生物检测及研发。E-mail: lhui@cofco.com

\*Corresponding author: LI Hui, Ph.D, Senior Engineer, Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing 102209, China. E-mail: lhui@cofco.com

for the detection and control of molds contamination. Microbial limit standard especially molds limit value need to be formulated.

**KEY WORDS:** wheatmeal; molds; aflatoxin

## 1 引言

中国是世界上最大的小麦生产国和消费国<sup>[1]</sup>。2013/2014 年度中国小麦总产量约为 11500 万吨,总消费量约为 11635 万吨,占国内粮食总消费量的 23% 左右<sup>[2,3]</sup>。小麦一般被加工成小麦粉食用,小麦粉由于颗粒细小,碳水化合物、蛋白质、无机盐等营养物质直接暴露于外界,因此非常容易被微生物污染。

小麦粉中的污染微生物包括细菌、放线菌和真菌中的霉菌和酵母。虽然细菌在粮食上的数量很多,但是对储粮安全性的影响却不及霉菌<sup>[4]</sup>。霉菌在粮食中的活动不仅影响粮食的食用及加工工艺品质,而且会产生黄曲霉毒素等真菌毒素及霉菌的其他有毒代谢产物<sup>[5]</sup>,严重影响粮食及其加工产品的食用安全性。黄曲霉毒素在各类真菌毒素中被公认为最强烈的致癌物,可以致癌、致畸和导致突变<sup>[6,7]</sup>。在已发现的 18 种黄曲霉毒素中,黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 是黄曲霉毒素中毒性最强、结构最稳定的一种,也是粮食中比较常见的毒素<sup>[8]</sup>。黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 是二氢呋喃氧杂萘邻酮的衍生物,含有一个双呋喃环和一个氧杂萘邻酮,半数致死量为 0.36 mg/kg 体重<sup>[9]</sup>。作为三大主粮之一,小麦粉中产黄曲霉毒素真菌污染的防控更应受到重视。

本研究在小麦粉微生物污染检测过程中,从霉菌污染较多的小麦粉中分离、纯化出所污染的真菌,并对纯化真菌进行鉴定。进一步对其潜在产毒能力进行分子生物学检测,同时利用免疫亲和层析高效液相色谱法对分离真菌产黄曲霉毒素的能力进行验证,旨在为主粮小麦粉的食用安全性评价和贮藏安全保障提供依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料和试剂

面粉: 1 号国产小麦粉、2 号国产小麦粉均为市场采购;花生种子和玉米种子购自中国农科院;

黄曲霉标准菌株: *Aspergillus flavus* 3.4410, 购自 CGMCC;

黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> 标准溶液: 纯度>99%,

购自 Sigma 公司。

麦汁培养基: 5°Bé 麦芽汁, 琼脂 20 g/L, pH 6;

马铃薯-葡萄糖琼脂培养基购自北京陆桥技术有限公司;

萨氏培养基: 胰蛋白胨 10 g/L, 葡萄糖 40 g/L, 酵母粉 10 g/L;

基因组提取试剂盒、PCR 产物纯化试剂盒购自天根生化科技有限公司, dNTP、Taq 酶及 Buffer 购自宝生物工程(大连)有限公司, 引物均由英潍捷基上海贸易有限公司合成; 甲醇(色谱纯); 黄曲霉毒素总量免疫亲和柱(美国 VICAM 公司); Ultimate AQ-C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 mm×150 mm, 5 μm)。

### 2.2 仪器

人工气候箱(上海一恒科学仪器有限公司); 恒温摇床(上海一恒科学仪器有限公司); Bead Beater, (美国 Biospec 公司); 显微镜(卡尔蔡司光学有限公司); PCR 仪(伯乐生命医学产品有限公司); NanoDrop 2000 超微量分光光度计(美国 ThermoFisher 公司); XR System 凝胶成像系统(美国 Bio-Rad 公司); Alliance e2695 高效液相色谱仪(美国 Waters 公司)。

### 2.3 小麦粉中菌落总数、大肠菌群、霉菌和酵母的检测

样品菌落总数、大肠菌群和霉菌、酵母计数分别依据 GB 4789.2-2010《食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定》、GB 4789.3-2010《食品安全国家标准食品微生物学检验大肠菌群计数》和 GB 4789.15-2010《食品安全国家标准食品微生物学检验霉菌和酵母计数》的方法进行。

### 2.4 小麦粉中霉菌的分离和纯化

从 2.3 中所得的霉菌计数平板中挑取样品 2 的不同形态的单菌落至 PDA 培养基, 28 °C 培养 7 d 后观察并保存。

### 2.5 分离霉菌的鉴定

菌落形态观察: 挑取单菌落接种于麦芽汁琼脂培养基上, 25 °C 培养 7 d 后, 观察菌落形态和颜色。

显微观察: 用乳酚油制片, 观察观察分生孢子结构, 包括分生孢子头球、分生孢子梗和菌丝。

## 2.6 霉菌的分子生物学鉴定

### 2.6.1 基因组提取

取适量萨氏培养基培养的菌液 12000 r/min 离心 10 min 后, 弃去上清, 加入 200  $\mu$ L TE 缓冲液和 100 mg 石英砂, Bead Beater 振荡 10 min, 12000 r/min 离心 2 min 后取上清液, 用基因组提取试剂盒提取基因组, 按照说明书规定操作, 所得的基因组用超微量紫外分光光度计检测浓度和纯度。

### 2.6.2 ITS1-5.8S-ITS2 区序列扩增

扩增所用引物参照 Kumeda 等<sup>[10]</sup>的研究, 引物序列见表 1。PCR 反应体系: 50  $\mu$ L 反应体系, 依次加入无酶无菌水 33.75  $\mu$ L、10 $\times$ Buffer 5  $\mu$ L、dNTPs 4  $\mu$ L、引物各 2.5  $\mu$ L、Taq 酶 0.25  $\mu$ L、所提取的基因组 2  $\mu$ L。PCR 反应条件: 94 $^{\circ}$ C 预变性 5 min, 进入循环程序, 94 $^{\circ}$ C 变性 30 s, 53 $^{\circ}$ C 退火 30 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 40 s, 35 个循环, 再 72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min。PCR 完成后将 PCR 产物进行琼脂糖凝胶电泳检测, 目标条带为 600 bp 左右。

### 2.6.3 序列比对

将 PCR 产物用 PCR 产物纯化试剂盒纯化后, 送至英潍捷基上海贸易有限公司进行测序。测序结果上传至 NCBI 数据库中进行序列比对, 以序列比对结果作为参考依据进行鉴定。

表 1 ITS1-5.8S-ITS2 区序列扩增引物  
Table 1 ITS1-5.8S-ITS2 region sequence amplification primer

引物	序列
ITS1	5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3'
ITS4	5'-TCCTCCGCTATTTGATATGC-3'

## 2.7 分离菌株产毒关键基因 PCR 鉴定

按照出入境检验检疫行业标准《SN/T 2582-2010

产黄曲霉毒素真菌 PCR 检测方法》对黄曲霉毒素生化合成过程中的三个关键基因: 调控基因 *aflR*、柄曲霉素转甲氧基酶 *omt-1* 和杂色曲霉毒素 A 脱氢酶 *ver-1* 进行 PCR 检测。

## 2.8 分离菌株固态发酵培养

挑取适量分离菌株菌丝体接种于 50 mL 萨氏培养液中, 28  $^{\circ}$ C 150 r/min 培养 48 h。分别将培养菌液 25 mL 接种于装有灭菌花生和玉米的 500 mL 三角瓶中, 摇动三角瓶使种子液分布均匀, 置温度 28  $^{\circ}$ C、湿度 60% 的人工气候培养箱中静置培养 21 d。

## 2.9 黄曲霉毒素的检测

准确称取玉米和花生的发酵培养物 25 g, 按照国家标准《GB/T 18979-2003 食品中黄曲霉毒素的测定免疫亲和层析净化高效液相色谱法和荧光光度法》检测玉米和花生中黄曲霉毒素的含量。

## 3 结果与分析

### 3.1 小麦粉微生物含量

本研究对 1 号国产小麦粉和 2 号国产小麦粉的菌落总数、大肠菌群、霉菌和酵母 4 个指标进行了检测, 检测结果如表 2 所示。

结果显示, 与澳大利亚小麦粉微生物建议限量相比, 本研究所检测的小麦粉微生物含量基本在限量范围内, 但小麦粉霉菌含量的检测值为  $1.3 \times 10^3$  cfu/g, 略高于澳大利亚小麦粉霉菌建议限量 ( $<10^3$  cfu/g), 因此对 2 号小麦粉进行进一步研究。

### 3.2 小麦粉中霉菌的分离鉴定

使用 PDA 培养基和麦汁琼脂培养基对 2 号国产小麦粉检测的霉菌进行分离、纯化和鉴定, 根据菌落形态和显微形态观察并结合 ITS1-5.8S-ITS2 区序列分析, 共鉴定出 5 株菌, 见表 3。

表 2 小麦粉微生物含量与澳大利亚小麦粉微生物建议限量值比较(单位: cfu/g)  
Table 2 Comparison of microorganism value in the wheatmeal with the proposed microbial limit value in Australia (Unit: cfu/g)

序号	检测项目	1 号小麦粉	2 号小麦粉	澳大利亚小麦粉微生物建议限量 <sup>[11]</sup>
1	菌落总数	$1.4 \times 10^3$ cfu/g	$1.8 \times 10^3$ cfu/g	$<10^4$ cfu/g
2	大肠菌群	10 cfu/g	10 cfu/g	$<10^2$ cfu/g
3	霉菌	$1.8 \times 10^2$ cfu/g	$1.3 \times 10^3$ cfu/g	$<10^3$ cfu/g
4	酵母	$<1$ cfu/g	$<100$ cfu/g	$<10^3$ cfu/g

表3 分离菌株的生理生化鉴定和分子生物学鉴定结果

Table 3 The physiological and biochemical identification results and molecular biology identification results of the isolated strains

形态特征	1	2	2	3	5
菌落形态	在麦汁培养基上呈绒毛状, 灰色	在麦汁培养基上呈绒状, 灰绿色	在麦汁培养基上呈绒毛状, 黑色	在麦汁培养基上呈绒毛状兼絮状, 暗黄色	在麦汁培养基上呈绒毛状, 黄绿色
显微形态	分生孢子卵形, 砖格状分隔生于分生孢子梗顶端	分生孢子梗帚状枝轮生, 分生孢子球形, 链生	分生孢子头球形至辐射形, 分生孢子球形, 褐色	分生孢子头球形至辐射形, 产孢结构单层或双层, 分生孢子近球形, 淡黄褐色	分生孢子头球形至辐射形, 分生孢子球形, 淡黄褐色
ITS1-5.8S-ITS 2 区序列分析	与链格孢霉属的相似度达到 99%	与青霉属的相似度达到 99%	与黑曲霉的相似度达到 100%	与米曲霉的相似度达到 99%	与米曲霉的相似度达到 99%
鉴定菌种	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus oryzae</i>	<i>Aspergillus oryzae</i>
菌株编号	NHF1	NHF2	NHF3	NHF4	NHF5

进一步, 将分离的5株菌株送至中科院微生物所进行菌株鉴定确认, 5株菌分别鉴定为 *Alternaria alternata* 链格孢霉 (NHF1)、*Penicillium aurantiogriseum* 橘灰青霉 (NHF2)、*Aspergillus niger* 黑曲霉 (NHF3)、*Aspergillus oryzae* 米曲霉 (NHF4)、*Aspergillus oryzae* 米曲霉 (NHF5)。

### 3.3 分离菌株产黄曲霉毒素关键基因 PCR 扩增结果

所分离菌株的黄曲霉毒素生物合成途径中的关键调控基因 *aflR*、*ver-1* 和 *omt-1* PCR 扩增结果如图 1 所示, 结果分析显示, 菌株 NHF1、NHF2、NHF3 仅扩增出 600 bp 左右的 ITS 基因片段, 其余基因片段没有扩增。菌株 NHF4 和 NHF5 除扩增出 600 bp 左右的 ITS 基因片段, 其 *aflR* 基因片段、*omt-1* 基因片段和 *ver-1* 基因片段大小与黄曲霉标准菌株 PCR 扩增基因片段大小一致, 为 979 bp 左右、797 bp 左右和 452 bp 左右, 判定结果为可疑阳性。

### 3.4 分离菌株产黄曲霉毒素测定

在本试验条件下, 分离菌株 NHF4、NHF5 和黄曲霉标准菌株产黄曲霉毒素液相色谱图见图 2。

从图 2 液相色谱检测结果可以看出, 本试验中黄曲霉标准菌株和分离菌株 NHF4、NHF5 在玉米和花生培养基上都有黄曲霉毒素尤其是黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的产生, 在相同的培养条件下, 侵染玉米后所产生的黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 含量均高于侵染花生所产生的黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 含量。

如表 4 所示, 黄曲霉标准菌株产黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的含量为 6213.0 μg/kg(玉米)、4672.0 μg/kg(花生), 分离菌株 NHF4 产黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的含量为 1283.0 μg/kg(玉米)、819.0 μg/kg(花生), 分离菌株 NHF5 产黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的含量为 2747.0 μg/kg(玉米)、899.7 μg/kg(花生), 而其他分离菌株没有检测到黄曲霉毒素的产生。

## 4 讨论

由于小麦皮层带有一定的微生物, 因此在小麦粉生产过程中, 很容易造成微生物的污染。虽然细菌也会污染小麦粉, 但是对储粮安全性影响最大的是霉菌<sup>[4]</sup>。本研究在对小麦粉的污染霉菌分析研究中发现, 污染的霉菌有链格孢霉、黑曲霉、橘灰青霉和米曲霉, 这与 Weidenbörner 等<sup>[12]</sup>及 Al-Defiery<sup>[13]</sup>的报道相同, 即小麦粉样品中污染的霉菌, 以青霉菌和曲霉菌为主, 部分也含链格孢霉属的菌。

米曲霉属于黄曲霉群, 黄曲霉群微生物的部分菌株系在一定条件下产生黄曲霉毒素<sup>[14]</sup>。PCR 技术检测分离菌种黄曲霉毒素合成代谢路径中的关键基因 *aflR*、*omt-1*、*ver-1*, 发现所分离的两株米曲霉都含有黄曲霉毒素合成的三个关键基因(图 1), 具有潜在的产生黄曲霉毒素的能力。进一步采用高效液相色谱检测培养产物发现所分离的米曲霉确实产生黄曲霉毒素(图 2)。因此, 小麦粉污染了这类霉菌具有潜在的食用安全风险。

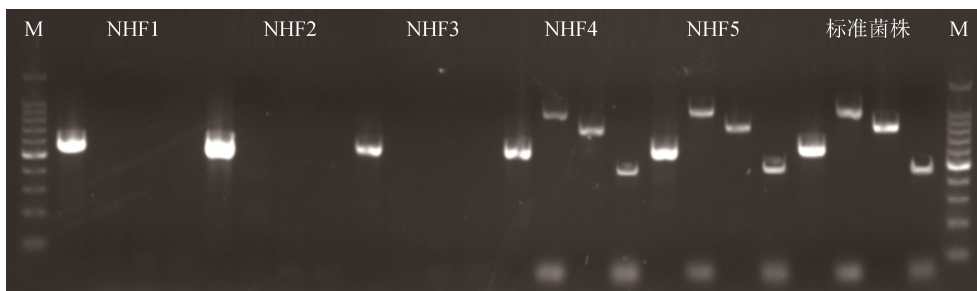


图 1 分离菌株 ITS、*aflR*、*omt-1* 和 *ver-1* 基因 PCR 扩增结果

Fig. 1 The *aflR*, *ver-1*, *omt-1* and ITS gene PCR amplification results of the isolated strains

M—100 bp DNA 分子量标准, 其分子量由小至大依次为(bp): 100、200、300、400、500、600、700、800、900、1000、1500。每个样品四个基因的顺序均为 ITS、*aflR*、*omt-1* 和 *ver-1*

M-100 bp DNA marker, the corresponding molecular weight (from small to large, bp) was 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, and 1500, respectively. The order of the four genes is ITS, *aflR*, *omt-1* and *ver-1*

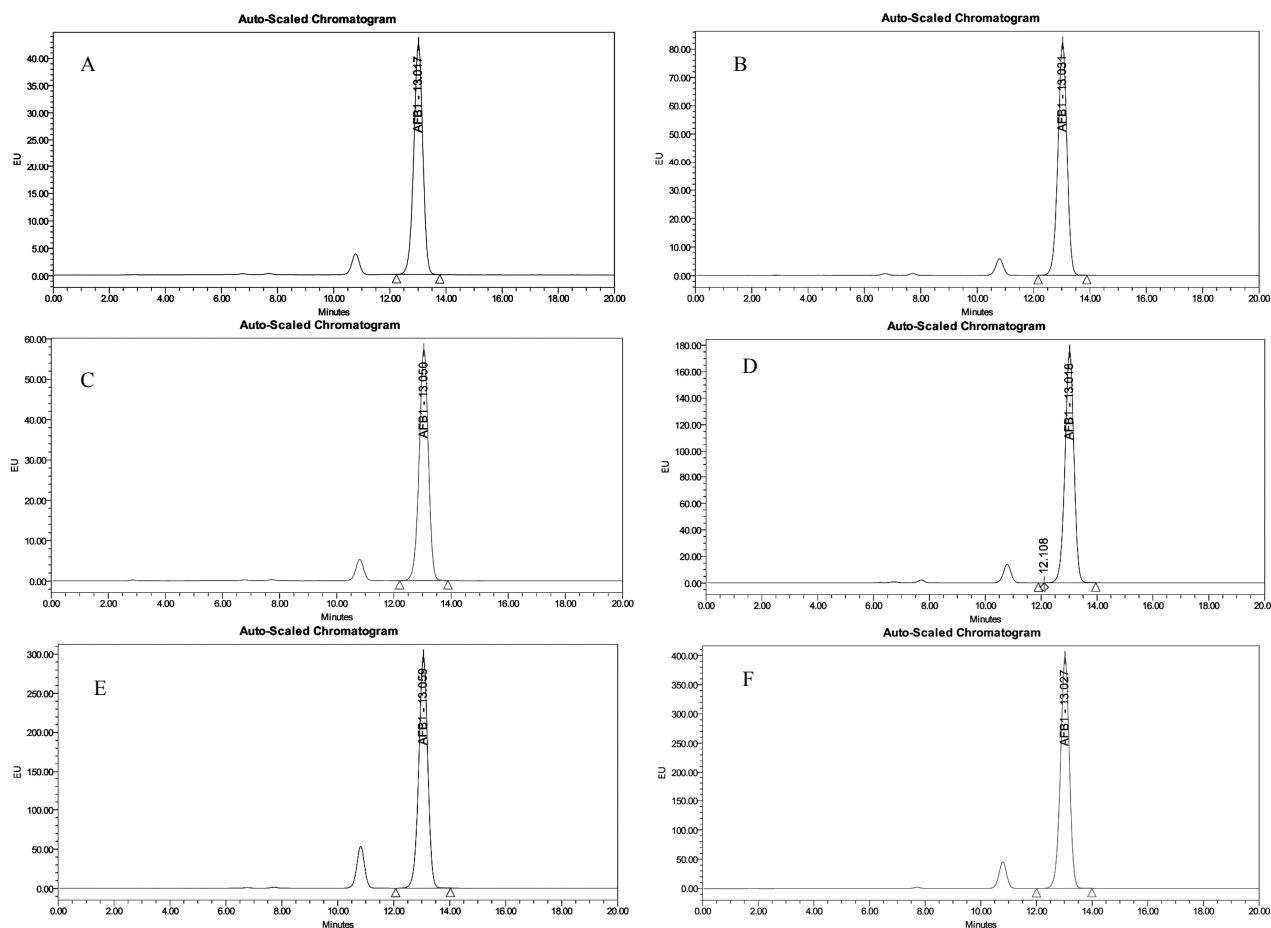


图 2 菌株侵染花生或玉米所产生黄曲霉毒素的高效液相色谱测定图谱

Fig.2 The aflatoxin HPLC spectrum of peanuts or maizes inoculated with isolated mold

A: 菌株 NHF4 侵染花生; B: 菌株 NHF4 侵染玉米;

C: 菌株 NHF5 侵染花生; D: 菌株 NHF5 侵染玉米;

E: 黄曲霉标准菌株侵染花生; F: 黄曲霉标准菌株侵染玉米

A: Peanuts inoculated with strain NHF4; B: Maizes inoculated with strain NHF4;

C: Peanuts inoculated with strain NHF5; D: Maizes inoculated with strain NHF5;

E: Peanuts inoculated with *Aspergillus flavus* standard strain; F: Maizes inoculated with *Aspergillus flavus* standard strain

表4 霉菌侵染花生和玉米样品中黄曲霉素 B<sub>1</sub> 的含量  
Table 4 The aflatoxin B<sub>1</sub> concentration of peanuts or maizes inoculated with isolated mold

菌株	NHF1	NHF2	NHF3	NHF4	NHF5	标准菌株
花生中黄曲霉毒素含量(μg/kg)	—	—	—	819.0	899.7	4672.0
玉米中黄曲霉毒素含量(μg/kg)	—	—	—	1283.0	2747.0	6213.0

Berghofer 等<sup>[11]</sup>通过研究澳大利亚不同地区的小麦粉加工过程及最终产品中各类微生物数量及其变化规律,提出了澳大利亚小麦粉中各类微生物的限量指标,其中对霉菌和酵母菌的控制比较严格,其限量值为 $<10^3$  cfu/g。今后我国也应加强小麦粉等粮食原料及其加工品的各类卫生安全标准和生产规范的制定,并全面制定小麦粉等粮食原料及其加工品微生物污染的限量标准,尤其是霉菌的限量值,将损失以及对人类健康的危害降至最低。

#### 参考文献

- [1] He ZH, Rajaram S, Xin ZY, *et al.* A history of wheat breeding in China [M]. Cimmyt®, Mexico: Cimmyt, 2001.
- [2] 王玲. 中国小麦消费结构分析及深加工发展展望[J]. 农业展望, 2014, 11: 018.  
Wang L. Consumption structure and deep processing development prospect of China's wheat [J]. Agric Outlook, 2014, 11: 018.
- [3] 王玉庭. 中国小麦消费现状及趋势分析[J]. 中国食物与营养, 2010, (5): 47-50.  
Wang YT. Status of wheat consumption and its trend in China [J]. Food Nutr China, 2010, (5): 47-50.
- [4] 李荣涛. 粮食微生物与粮食防霉[J]. 垦殖与稻作, 2004, (3): 52-53.  
Li RT. Grain microorganism and grain mold proof [J]. Reclaiming Rice Cultivation, 2004, (3): 52-53.
- [5] Bennett JW, Klich M. Mycotoxins [J]. Clin Microbiol Rev, 2003, 16(3): 497.
- [6] Rustom IYS. Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods [J]. Food Chem, 1997, 59(1): 57-67.
- [7] 蒋红. 饮食与肿瘤[J]. 实用医技杂志, 2007, 14(7): 885-886.  
Jiang H. Diet and Cancer [J]. J Practical Med Techniques, 2007, 14 (7): 885-886.
- [8] 殷金坚. 基于诱导荧光的黄曲霉素光谱检测系统的研制 [D]. 长春: 吉林大学, 2006.  
Yin JJ. Design of system in detecting aflatoxin spectrum based on induced fluorescence [D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [9] 李书国, 陈辉, 李雪梅, 等. 粮油食品中黄曲霉毒素检测方法综述 [J]. 粮油食品科技, 2009, 17(2): 62-65.  
Li SG, Chen H, Li XM, *et al.* Summary of the methods detecting aflatoxin in cereal and oil food [J]. Sci Technol Cereals Oils Foods, 2009, 17(2): 62-65.
- [10] Kumeda Y, Asao T. Single-strand conformation polymorphism analysis of PCR-amplified ribosomal DNA internal transcribed spacers to differentiate species of *Aspergillus* section *Flavi* [J]. Appl Environ Microbiol, 1996, 62(8): 2947-2952.
- [11] Berghofer LK, Hocking AD, Miskelly D, *et al.* Microbiology of wheat and flour milling in Australia [J]. Int J Food Microbiol, 2003, 85(1): 137-149.
- [12] Weidenbömer M, Wiczorek C, Appel S, *et al.* Whole wheat and white wheat flour—the mycobiota and potential mycotoxins [J]. Food Microbiol, 2000, 17(1): 103-107.
- [13] Al-Defiery MEJ, Merjan AF. Mycoflora of mold contamination in wheat flour and storage wheat flour [J]. Environ J, 2015, 1(2): 18-25.
- [14] Kim NY, Lee JH, Lee I, *et al.* An evaluation of aflatoxin and cyclopiazonic acid production in *Aspergillus oryzae* [J]. J Food Prot, 2014, 77(6): 1010-1016.
- [15] 李树超. 中国小麦生产的发展趋势, 制约因素及战略对策 [J]. 中国农村经济, 1998, 8: 41-44.  
Li SC. The development tendency, constraints and strategic countermeasure of wheat production in China [J]. Chin Rural Economy, 1998, 8: 41-44.

(责任编辑: 白洪健)

#### 作者简介



李 慧, 高级工程师, 主要研究方向为食品生物检测及研发。  
E-mail: lhui@cofco.com



胡梦龙, 主要研究方向为食品分子生物学检测及研发。  
E-mail: humenglong@cofco.com