

# 黄曲霉毒素检测及其生物防治方法的研究进展

许艳丽<sup>1,2</sup>, 鲍蕾<sup>2</sup>, 梁成珠<sup>2</sup>, 雷质文<sup>2</sup>, 林修光<sup>2</sup>, 汪东风<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266003; 2. 山东出入境检验检疫局, 山东青岛 266002)

**摘要** 介绍了黄曲霉毒素的危害、检测方法, 并利用微生物之间的竞争作用筛选出能抑制产毒黄曲霉生长的菌株, 由此来降低黄曲霉毒素的污染, 从根源上解决黄曲霉毒素污染问题。

**关键词** 黄曲霉毒素; 竞争; 生物防治

中图分类号 TS201.6 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)32-10210-03

## Research Progress on Detection and Biological Prevention of Aflatoxins

XU Yan-li et al (College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266003)

**Abstract** The harm and detection of Aflatoxin and the way based on the competitive between microorganisms to sieving a kind of strain which can restrain the growth of toxigenic *Aspergillus flavus* are introduced. This method may reduce the contamination of aflatoxin, and solve the problem of aflatoxin contamination from the source.

**Key words** Aflatoxin; Competitive; Biological preventio

### 1 黄曲霉毒素及其危害

黄曲霉毒素(Aflatoxins)是真菌的次级代谢产物, 主要是由黄曲霉(*A. flavus*)、寄生曲霉(*A. parasiticus*)、集蜂曲霉(*A. nonius*)和溜曲霉(*A. tamarii*)产生的<sup>[1]</sup>。国外黄曲霉毒素污染主要是由寄生曲霉产生的, 而国内主要是由黄曲霉产生的, 黄曲霉的产毒能力由于菌株的不同而差异甚大; 寄生曲霉的所有菌株都能产生黄曲霉毒素但在我国寄生曲霉罕见<sup>[2]</sup>。黄曲霉毒素是一种毒性很强的肝毒素, 可引起肝脏的急性或慢性损害, 除损害机体的肝脏以外, 黄曲霉毒素对肾脏等其他多种组织器官也能造成严重损害, 更为严重的是黄曲霉毒素已被证实具有致癌、致畸、致细胞突变的“三致”作用<sup>[3]</sup>。黄曲霉毒素广泛存在于花生、玉米、麦类、稻谷等农产品中, 严重危害人、畜、禽类健康。黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 被公认为目前致癌力最强的天然物质, 1993 年黄曲霉毒素被世界卫生组织(WHO)的癌症研究机构划定为 I 类致癌物<sup>[4-5]</sup>。

研究发现, 黄曲霉是粮食和食品中最常见的真菌, 但并非所有黄曲霉菌株都能产生毒素<sup>[6-8]</sup>。根据 Matles 等人报道, 从自然界中分离的黄曲霉菌株中, 只有 10% 能产毒素; 产黄曲霉毒素的真菌能够侵染多种农作物并在其中生长, 农作物收获前炎热、干旱的气候条件能够刺激产黄曲霉毒素的真菌生长, 因此当生产地大面积出现这种气候时, 就会导致农作物明显的感染黄曲霉毒素的现象; 如果农作物在生长过程中遭遇病虫害、土壤贫瘠、早霜、倒伏以及潮湿多雨等对作物生长不利的条件, 也会促使黄曲霉毒素的产生; 收获后黄曲霉毒素的污染主要是由于储存条件不当造成的, 如仓储温度高、湿度大、通风透气条件不良等。据 FAO 报道, 全球每年约有 25% 的农作物遭受霉菌及其毒素的污染, 约有 2% 的农作物因污染严重而失去营养和经济价值。由此估计, 全球每年因霉菌毒素污染而造成的直接或间接经济损失达数百亿美元。中国是世界花生生产大国, 花生总产量和出口量均占世界第一, 是我国为数不多的具有明显竞争优势的出口创汇农产品。近年来, 花生黄曲霉毒素的问

题影响了我国花生的卫生质量, 制约了我国花生的出口。

随着各国政府对食品安全的高度重视, 国际上对农产品安全卫生的要求也日趋严格, 基于上述种种危害, 世界各国对真菌毒素的污染问题日益关注和重视, 黄曲霉毒素的危害和检测也受到了前所未有的广泛关注。各国先后制订了各种真菌毒素的限量标准, 以保护国民的身体健康及农业、畜牧业的经济利益。随着全球经济自由化的进程, 真菌毒素的限量标准被一些发达国家进一步利用为技术性贸易壁垒的手段之一, 美国和欧盟国家的有关法律对人类消费食品和奶牛饲料中的黄曲霉毒素含量都做出了严格规定。食品检测中往往以 AFB<sub>1</sub> 为指标, 我国食品限量标准为 5.0~20.0 μg/kg<sup>[9]</sup>; 国际食品法典委员会(CAC)也将鲜牛奶中黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 的限量定为 0.5 μg/kg; 1995 年世界卫生组织制订的食品中 AFB<sub>1</sub> 最高允许浓度为 15.0 μg/kg, 婴儿食品中不得检出<sup>[10]</sup>。

据联合国粮农组织(FAO)的最新调查显示, 截至 1995 年, 全球已知有 77 个国家和地区设立了针对真菌毒素的限量法令, 在各国现有的真菌毒素法令中, 黄曲霉毒素限量倍受关注。事实上, 在所有的 77 个国家和地区所设立的限量法令中均包含至少一种针对黄曲霉毒素的限量。尽管这些限量水平参差不齐, 涉及的毒素类型也不尽相同, 但足以反映世界各国对黄曲霉毒素的重视程度。

### 2 黄曲霉毒素检测方法

黄曲霉毒素经提纯后为无色结晶体, 难溶于水, 易溶于氯仿、甲醇、丙酮等, 在紫外线下可发出蓝紫色或黄绿色荧光<sup>[11]</sup>, 紫外线对黄曲霉毒素有破坏作用, 但费时较长; 黄曲霉毒素对热较稳定, 280℃以上才裂解破坏, 但可被强碱和氧化剂分解<sup>[12]</sup>; 黄曲霉毒素是一组化学结构类似的化合物, 目前已经分离鉴定出 20 多种, 包括 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>、M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 和毒醇等, 黄曲霉毒素的基本结构为二呋喃香豆素衍生物; 在紫外灯下, 黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 发蓝紫色荧光, G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> 发黄绿色荧光<sup>[11]</sup>。

黄曲霉毒素分析法主要有: 薄层层析法(TLC)、高效液相色谱法(HPLC)、酶联免疫吸附法(ELISA)、放射免疫测定法(RIA)、免疫层析(IC)等检测方法<sup>[13]</sup>。TLC 法是最早应用于黄曲霉毒素检测中的方法之一。其操作简单, 成本低, 灵敏度可达 1.0~5.0 μg/kg<sup>[14]</sup>, 低于大多数国家制定的黄曲霉毒

基金项目 国家检验检疫质量监督总局 2006ik105)。

作者简介 许艳丽(1981-), 女, 山东单县人, 硕士研究生, 研究方向: 食品微生物。

收稿日期 2007-07-13

素标准限量。TLC 法针对不同的样品,用适宜展开剂在薄层板上展开、分离,利用 AFB<sub>1</sub> 的荧光性,根据荧光斑点的强弱与标准品比较测定其含量。但由于 TLC 法对人和环境污染系数较大,而且操作繁冗,所以逐渐被 ELISA 法和 HPLC 法取代。ELISA 法是在免疫学和细胞工程学基础上发展起来的一种微量检测技术。该方法快速、灵敏、特异性强、成本较低,特别适合于对 AFB<sub>1</sub> 污染检测控制中大量样品的筛查<sup>[15]</sup>。HPLC 法的检测方法是:样品经提取、净化后,选择适宜的流动相通过高效液相色谱柱,使多种黄曲霉毒素同时分离出来,用荧光检测器检测。HPLC 法灵敏度较高,能同时检测多种毒素,但要求样品纯度高<sup>[16]</sup>。RIA 法与 ELISA 方法的原理相同,但标记物不同,前者标记物为放射性元素,后者标记物为酶。由于其标记物为放射性元素,因此存在放射性污染,故近几年用该法的报道较少<sup>[17]</sup>。IC 法是 20 世纪后期发展起来的一种快速免疫分析技术。它的原理是:借助毛细作用样品在条状纤维制成的膜上泳动,其中的待测物与膜上一定区域的配体结合,通过酶促显色反应或直接使用着色标记物,5-10 min 便可得到直观的结果。其操作简单、快速、人员不用培训,且不需特殊的仪器设备,非常适用于现场测试和进行大量样品的初筛<sup>[18]</sup>。

另外,李佐卿等人在前人研究的基础上采用亲和柱高效液相色谱法 IAC-HPLC 快速测定牛奶和奶粉中的黄曲霉毒素 M<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> 的含量。该方法的原理是利用抗原抗体的一一对应的特异性吸附特性,亲和柱只能特异性、选择性地吸附黄曲霉毒素而其他杂质则顺利通过柱子,然后再利用洗脱液将黄曲霉毒素洗脱下来。该方法大大简化了样品的前处理过程,同时利用高效液相色谱进行定量和定性,可以同时测出黄曲霉毒素的总量和 M<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> 各自的量。该方法具有快速、高效、灵敏、准确、方便、安全、易于推广等优点,因此是目前最为先进的一种分析方法,国际标准化组织 (ISO) 已将 IAC-HPLC 法列为国际标准方法 (ISO14501:1998)<sup>[20]</sup>。

### 3 黄曲霉毒素污染的生物防治方法

目前,农业上防治真菌及其毒素对食品污染的主要途径是遵守良好的农业生产操作规范,选择抗真菌的优良品种,但由于黄曲霉毒素是一种次级代谢产物,其产生量受环境影响十分严重,所以田间的预防措施也不能完全避免黄曲霉毒素的污染。收获后储藏过程中采取措施,如化学防霉等可抑制或延缓微生物的生长,但防霉效果不是很理想,而且化学防霉剂对人和动物有诸多潜在的危害。由于黄曲霉毒素对热不敏感,100 °C 20 h 下黄曲霉毒素都不会被破坏,巴氏消毒也不能去除毒素的污染,因此对付黄曲霉毒素的最佳办法就是预防<sup>[21]</sup>。但目前还缺少真正有效、经济、操作性强的防霉去毒措施,因此从安全的角度出发,考虑利用微生物之间的拮抗作用,探索生物控制方法以预防真菌的生长与产毒具有重要意义。据报道,许多微生物包括细菌、酵母菌、霉菌、放线菌和藻类都能去除或降解食品和饲料中的黄曲霉毒素<sup>[22]</sup>。

早在 1992 年, Dorner 就已经提出了将不产毒的寄生曲霉菌株播撒在花生生长的土壤中能够使可食用花生中的黄曲霉毒素含量降低 83%~98%<sup>[23]</sup>; Cotty 在 1994 年报道,在土壤中引入不产毒的黄曲霉菌株也可以降低棉花种子中的

黄曲霉毒素的含量<sup>[24]</sup>。在上述研究中都是引入了黄曲霉和寄生曲霉来控制土壤中的微生物菌群,并且这些引入的菌株在农作物生长过程中优先替代了土壤中原有的产毒菌株,这种利用生物竞争因素来达到生物控制目的的方法对于降低收获前黄曲霉毒素的污染是很有效的。

Cole 在 1986 年获得一株变异的产毒寄生曲霉菌 NRRL 6111), 并且证实其在土壤中具有很高的竞争性,该菌株经紫外线诱变后可产生不产毒的变异菌株<sup>[25]</sup>。Dorner 等人在 1998 年将诱变后不产毒的黄曲霉和寄生曲霉突变株在花生种植后的一段时间内以不同的接种量接种在土壤中,在花生生长过程中控制试验田的条件以适合于黄曲霉毒素的产生,花生收获后用高效液相色谱分析发现:较高的接种量对抑制收获前花生黄曲霉毒素的污染有较高的作用,并且在接种后 2 年都有显著的抑制作用,但该方法要求的接种量较大<sup>[26]</sup>。

另外还有研究发现,食品中常用的几种微生物,如乳酸菌、醋酸菌、面包酵母、酿酒酵母、米曲霉和枯草杆菌对黄曲霉毒素都有一定的降解作用,其中枯草杆菌、乳酸菌和醋酸菌具有较强的降解黄曲霉毒素的能力<sup>[27-31]</sup>。Coallier 等人在研究乳酸乳球菌和黄曲霉产毒之间相互关系时发现:将二者同时培养,在孢子萌发的初期,乳酸乳球菌在消耗葡萄糖时并无黄曲霉毒素的产生<sup>[32]</sup>。Karunaratne 等人将乳酸菌在一定条件下发酵后通过离心去除乳酸菌活细胞,发现只有含乳酸菌细胞的培养液才能抑制黄曲霉的生长,而不含乳酸菌细胞的培养液可抑制黄曲霉毒素的合成,但不抑制黄曲霉的生长<sup>[33]</sup>。徐进等人在乳杆菌培养液、乳杆菌培养液的上清液和乳杆菌的细胞悬浮液中接种一定量的黄曲霉孢子,每隔一定时间取少量液体在 PDA 培养基上进行培养,28 °C 培养 72 h 后计数萌发的霉菌孢子,发现只有乳杆菌培养液对黄曲霉孢子萌发有显著的抑制作用<sup>[34]</sup>。这说明乳杆菌抑制黄曲霉孢子萌发的机制可能是低 pH 值、乳杆菌的代谢产物与微生物间竞争多因素协同作用的结果。李志刚等人将乳酸菌细胞与黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 在生理盐水中相混合,在 37 °C 振荡培养 60、120 min 后检测生理盐水中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的含量,同时利用 Ames 试验检测被吸附的黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的致突变性。结果表明,在使用的 8 株乳酸菌中,乳酸菌结合黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的强度在 4%~50%,其中干酪乳杆菌干酪亚种 CGMCC 11539 吸附黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 能力最强; Ames 试验表明,被结合的黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 仍有较强的致突变性<sup>[35]</sup>。朱新贵等人从民间发酵豆制品中分离出一株具有较高蛋白质水解活性的枯草杆菌,在添加一定量的黄曲霉毒素培养基上,经不同时间培养后,在紫外光下观察到菌落周围产生不同于 AflB<sub>1</sub> 典型荧光颜色的变色圈<sup>[27]</sup>。这种变色圈的产生是由于 AflB<sub>1</sub> 分子被转化或菌种产生的代谢物释放到菌落周围而影响 AflB<sub>1</sub> 的荧光反应所致,该试验发现枯草杆菌具有较强的去除黄曲霉毒素的能力。

由此可见,许多微生物对黄曲霉毒素的产生都有抑制作用或可降解黄曲霉毒素的作用,因此可以考虑利用微生物之间的竞争机制,在我国土壤或花生样品中筛选出对产毒黄曲霉生长有抑制作用的乳酸菌、细菌、霉菌或其他抑制活性较高的微生物作为拮抗菌,通过优化培养使其能够达到最佳的抑制效果。但从实际应用考虑,乳酸菌是厌氧菌,

在最易感染黄曲霉毒素的花生收获期间的田间根本无法保证厌氧的环境,所以乳酸菌很难作为拮抗菌在田间应用。据 Dorner 报道,将不产毒的寄生曲霉接种在花生土壤中对黄曲霉毒素的产生有很好的抑制作用,但在我国诸多花生黄曲霉毒素的研究报道中,很少有寄生曲霉产生黄曲霉毒素的报道,这有可能是与我国的土壤和气候环境不适合寄生曲霉的生长和产毒有关。因此可以考虑从我国花生生长土壤中筛选出一株黄曲霉产毒优势种,经过诱变使其转化为不产毒菌株,这样它就会具有很多亲代菌株的形态学和生理生化特性,在土壤中就会有强烈的竞争优势来抑制其他产毒黄曲霉的生长从而替代土壤中的产毒菌群,将这株菌再进行优化培养使其达到最佳的抑制效果;或者筛选出一株可产生降解黄曲霉毒素的活性物质的细菌,经过诱变后使其产生这种活性物质的能力大大提高,从而可以抑制或降低黄曲霉毒素的污染。这种利用微生物之间的竞争机制来达到抑制有害菌株的生长、毒素的产生的方法是一种经济、有效的方法,并且不会对环境造成二次污染,有望从源头上对黄曲霉毒素污染加以控制,从根本上解决问题。

#### 4 黄曲霉毒素控制的发展趋势

近些年,人们通过不断地研究和探索,已经从各个学科领域获得了关于黄曲霉及黄曲霉毒素的信息。目前,研究重点主要集中在以下几个方面:一是研究有关黄曲霉毒素合成的分子生物学。现在已经有多个黄曲霉毒素合成必须基因被克隆,如 *nor-1*、*afIR*、*ver-1*、*ord-1*、*ord-2* 和 *omt-A* 等<sup>[94]</sup>,其中 *afIR* 是最重要的一个调节基因,它编码一个分子量为 47 kDa 的蛋白 *afIR*<sup>[97-30]</sup>。二是改造传统农作物的基因。通过转基因技术将具有抗 AFT 特性的植物的抗毒基因转入到农作物中使其也表达出抗性,从而减少黄曲霉毒素的污染。三是修饰产毒菌株的基因。通过改变其产毒基因的结构或者利用基因敲除技术将产毒相关基因敲除,使其丧失产毒能力转化为不产毒的菌株。四是利用微生物之间的拮抗作用。从土壤中筛选出可抑制产毒黄曲霉生长的菌株,优化培养使其具有较强的竞争性,将该菌株引入农作物生长的土壤中,使其与产毒黄曲霉菌竞争性生长,从而减少黄曲霉毒素的分泌,降低黄曲霉毒素的污染。

利用生物防治方法来降低黄曲霉毒素污染还有很长的路要走,但它为真菌毒素污染的防治提出了一种非常有前景的生物学策略,因为通过生物学方法降低黄曲霉毒素的污染,不会对产品品质有影响也不会有不良的副产物出现。但相对于其他化学方法而言,利用生物防控法去毒的成本较高,其实际应用价值可能会有所限制。故寻找高效、廉价微生物及其制剂,是生物防治法获得广泛应用的关键。

#### 参考文献

- [1] KURTZMAN C P, HORN B W, HESSELTINE C W. *Aspergillus nomius*, a new aflatoxin producing species related to *Aspergillus flavus* and *Aspergillus tamarif*[J]. *Antonie van Leeuwenhoek*, 1987, 53: 147-158.
- [2] 郁庆福.现代卫生微生物学[M].北京:人民卫生出版社,1995:241-247.
- [3] 廖伯涛.中国种植业优质高产技术丛书——花生[M].武汉:湖北科学技术出版社,2003.
- [4] IARC W. Some naturally occurring substances: Food items and constituents, heterocyclic aromatic amines, and mycotoxins [J]. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, 1993, 56: 245-362.
- [5] ELISABETE YS, MARIO A, FABIA Y, et al. Evaluation of fumonisin-aflatoxin co-occurrence in Brazilian corn hybrids by ELISA [J]. *Food Addit Contam*, 2001, 18( 8): 719-729.
- [6] 吴丹.黄曲霉毒素在粮食和食品中的危害及防治[J].粮食加工, 2007( 3): 28.
- [7] SQUIRE R L. Ranking animal carcinogens: A proposed regulatory approach [J]. *Science*, 1981, 214: 877.
- [8] SMITH O S. Similarities among a group of elite maize inbreds measured by pedigree [J]. *Theor Appl Genet*, 1990, 80: 833-840.
- [9] 中华人民共和国国家标准. GB2761-81. 食品中黄曲霉毒素 B1 允许量标准[S].北京:中国标准出版社,1981.
- [10] TRUCKSESS M W, DOMBRINK-KURTZMAN M A, TOURNAS V H, et al. Occurrence of aflatoxins and fumonisins in Incaparina form Guatemala [J]. *Food Addit Contam*, 2002, 19( 7): 671-675.
- [11] 熊友明.去除食品中黄曲霉毒素的方法[J].武汉粮食工业学院学报, 1992( 2): 55-58.
- [12] 杨晓泉, 卞华伟.食品毒理学[M].北京:中国轻工业出版社, 1999.
- [13] 李佐卿, 章再婷, 谢东华, 等.免疫亲和柱高效液相色谱法快速测定牛奶和奶粉中黄曲霉毒素 M1、B1、B2、G1、G2[J].理化检测:化学分册, 2005, 41( 6): 406-408.
- [14] VARGAS E A. Co-occurrence of aflatoxins B1, B2, G1, G2, zearalenone and fumonisin B1 in Brazilian corn [J]. *Food Addit Contam*, 2001, 11: 981.
- [15] MARY W, TRUCKSESS, MICHAEL E, et al. Enzyme-linked immunosorbent assay of Aflatoxins B1, B2 and G1 in corn, cottonseed, peanuts, peanut butter, and poultry feed: Collaborative study [J]. *AOAC Int*, 1989, 72( 6): 957.
- [16] TARTER E J. Improved liquid chromatographic method for determination of aflatoxins in peanut butter and other commodities [J]. *AOAC Int*, 1984, 67( 3): 597.
- [17] RAUCH P, FUKAL L, BREZINA P, et al. Interference in radioimmunoassay of aflatoxins in food and fodder samples of plant origin [J]. *AOAC Int*, 1988, 71( 3): 491.
- [18] 王中民.免疫层析技术研究进展[J].国外医学临床生物化学与检验学分册, 2001( 2): 96-97.
- [19] 李佐卿, 谢东华, 孙大为, 等.免疫亲和柱 HPLC 荧光检测酒中黄曲霉毒素 B1、B2、G1、G2[J].光谱实验室, 2001, 18( 1): 28.
- [20] ISO 14501. Milk and milk powder - determination of aflatoxin M1 content - clean-up by immunoaffinity chromatography and by high-performance liquid chromatography [S]. 1998.
- [21] 潘斌, 庞广昌, 章均.黄曲霉毒素与食品安全[J].食品研究与开发, 2004, 25( 6): 11-13.
- [22] HAO Y, BRACKETT R E. Removal of aflatoxin B1 from peanut milk inoculated with *Flavobacterium aurantiacum* [J]. *Journal of Food Science*, 1998, 53: 1384-1386.
- [23] DORNER J W, COLE R J, BLANKENSHIP P D. Use of a biocompetitive agent to control preharvest aflatoxin in drought stressed peanuts [J]. *Food Prot*, 1992, 55: 888-892.
- [24] COTTY P J. Influence of field application of an atoxigenic strain of *Aspergillus flavus* on the populations of *A. flavus* infecting cottonbolls and on the aflatoxin content of cottonseed [J]. *Phytopathology*, 1994, 84: 1270-1277.
- [25] COLE R J, HILL R A, BLANKENSHIP P D, et al. Color mutants of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus* in a study of preharvest invasion of peanuts [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1986, 52: 1128-1131.
- [26] DORNER J W, COLE R J, BLANKENSHIP P D. Effect of inoculum rate of biological control agents on preharvest aflatoxin contamination of peanuts [J]. *Biological Control*, 1998, 12: 171-176.
- [27] 朱新贵, 林捷.几种食品微生物降解黄曲霉毒素作用的研究 [J].营养卫生, 2001( 22): 65-68.
- [28] ISMAIL Y S, RUSTON. Afl in food and feed: Occurrence, legislation and inactivation by physical methods [J]. *Food Chem*, 1997, 59( 1): 375-382.
- [29] JUNG H L CHO, HONG KWANG W ON, KANG KIL JIN. Control of afl production of *A. flavus* by inhibitory action of antagonistic bacteria [J]. *Microbiol & biotechnol*, 2000, 10( 2): 154-160.
- [30] SHANTHA T. Fungal degradation of aflB [J]. *Natural Toxins*, 1999, 7( 5): 175-178.
- [31] SMILEY R D, DRAUGHON F A. Preliminary evidence that degradation of aflB1 by *Flavobacterium* is enzymatic [J]. *Food Pro*, 2000, 63( 3): 415-418.

( 上接第 10212 页)

- [32] COALLIER-ASCAH J, IDZIAK E E. Interaction between streptococcus lactis and Aspergillus flavus on production of aflatoxin [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1985, 49: 163-167.
- [33] KARUNARATNE A, WEZENBERG E, BULLERMAN L B. Inhibition of growth and aflatoxin production by Lactobacillus spp. [J]. Food Prot, 1991, 53: 230-236.
- [34] 徐进, 冉陆, 杨宝兰, 等. 乳杆菌抑制黄曲霉孢子萌发的研究[J]. 卫生研究, 2002, 31( 3) : 47-49.
- [35] 李志刚, 杨宝兰. 乳酸菌对黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 吸附作用的研究[J]. 中国

食品卫生杂志, 2003, 15) : 212-215.

- [36] KIMIKO Y, NAKAMURA M, HAMASAKI T. Enzymatic formation of G-group aflatoxin and biosynthetic relationship between G- and B-group aflatoxin [J]. Appl Environ Microbio, 1999, 65: 3867-3872.
- [37] MATSUSHIMA K, CHANG P K, YU J, et al. Pre-termination in aflR of Aspergillus sojae inhibits aflatoxin biosynthesis [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2001, 55: 585-589.
- [38] CARY J W, EHRLICH K C, WRIGHT M, et al. Generation of aflR disruption mutants of Aspergillus parasiticus [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2002, 155: 10.