

文章编号: 1673-1689(2011)02-0273-05

## 去除黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的菌株筛选

孙丰芹<sup>1</sup>, 金青哲<sup>1,2</sup>, 王兴国<sup>\*1,2</sup>, 王珊珊<sup>3</sup>, 李秋<sup>3</sup>

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122; 2. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏无锡 214122; 3. 山东鲁花集团有限公司, 山东烟台 265200)

**摘要:** 作者从花生土壤和花生粕中筛选能去除黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>(AFB<sub>1</sub>) 的菌。利用营养特异性方法进行去除 AFB<sub>1</sub> 菌株的初筛, 之后将初筛的 7 株菌的细胞和发酵上清液作用于质量浓度为 200 μg/L 的 AFB<sub>1</sub>。结果表明: 筛选得到的 TRS-3 菌株, 其活细胞和死细胞对 AFB<sub>1</sub> 的去除率分别达到 48.26% 和 53.56%, 其发酵上清液降解 AFB<sub>1</sub> 的能力达到 78.55%, 均明显高于其它菌株。通过对 TRS-3 菌株的鉴定, 最终确定为巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)。

**关键词:** 黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>; 去除; 降解; 巨大芽孢杆菌

中图分类号: TQ 920.1

文献标识码: A

## Screening of Aflatoxin B<sub>1</sub> Removal Strains

SUN Feng-qin<sup>1</sup>, JIN Qing-zhe<sup>1,2</sup>, WANG Xing-guo<sup>\*1,2</sup>, WANG Shan-shan<sup>3</sup>, LI Qiu<sup>3</sup>

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. Shandong Luhua Group Co., Yantai 265200, China)

**Abstract:** The objective of this study was mainly to screen the bacteria that could remove aflatoxin B<sub>1</sub> in the peanut soil and moldy meal. After the first screening by the nutrient-specific method, the effect of cells and the supernatant fluid of the seven strains on aflatoxin B<sub>1</sub> (200 μg/L) was investigated. The result demonstrated that among the seven strains, the strain TRS-3 can remove aflatoxin B<sub>1</sub> effectively, with 48.26% and 53.56% of the removal ratio of AFB<sub>1</sub> by viable and dead cells, respectively. The degradation ratio of the supernatant fluid reached 78.55%, which was significantly higher than that of others. The strain TRS-3 was finally identified as *Bacillus megaterium*.

**Key words:** Aflatoxin B<sub>1</sub>, removal, degradation, *Bacillus megaterium*

黄曲霉毒素(Aflatoxins, AFT)主要是由黄曲霉(*Aspergillus flavus*)和寄生曲霉(*Aspergillus flavus*)等多种真菌产生的毒性代谢产物<sup>[1-2]</sup>。现

已分离出的黄曲霉毒素达 18 种<sup>[3]</sup>, 其中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>(aflatoxin B<sub>1</sub>, AFB<sub>1</sub>)因其极强的致癌、致突变和致畸性, 被国际癌症研究机构确认为 I 类致癌物<sup>[4]</sup>,

收稿日期: 2010-03-31

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BADB9B08)。

\* 通信作者: 王兴国(1962-), 男, 浙江台州人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事脂质科学与技术方面的研究。Email: wxg1002@hotmail.com

其结构见图1。

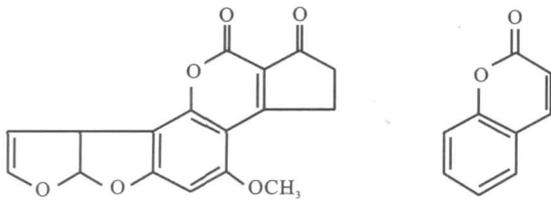


图1 黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 和香豆素的化学结构

Fig. 1 Chemical structures of aflatoxin B<sub>1</sub> and comarin

AFT 可经由多种生产环节污染食品、作物、饲料和奶制品等, 每年由其引起的经济损失和资源浪费不容忽视。此外, AFT 还可经食物链危及人类健康, 微量的 AFT 都会对人和动物产生有害影响。针对 AFT 污染, 尤其是发展中国家, 多采用物理或化学的传统方法, 如加热、辐射和氧化还原处理等。这些方法不仅低效、降低食品或饲料营养价值, 还存在潜在副作用<sup>[5]</sup>。

黄曲霉毒素的生物脱毒主要是采用微生物或其产生的酶及其制剂来进行脱毒, 生物脱毒的处理条件相对温和, 不会破坏产品的品质, 而且有些还能增加产品的营养价值, 因此, 生物脱毒受到广泛的关注。目前已经有报导过许多微生物能吸附或降解黄曲霉毒素, 包括细菌、酵母菌、霉菌和藻类等。Fazeli 等<sup>[6]</sup> 研究发现 *Lactobacillus casei*、*Lactobacillus plantarum* 和 *Lactobacillus fermentum* 都能吸附 AFB<sub>1</sub>, 吸附率为 25% ~ 61%。Kankaarpaa 和 Tuomola<sup>[7]</sup> 研究认为, 鼠李糖乳杆菌 LGG 吸附 AFB<sub>1</sub> 后, 其自身的吸附能力下降了 5% ~ 30%, 但 AFB<sub>1</sub> 与 LGG 形成的复合物较易从肠道中排出。Teniola 等<sup>[8]</sup> 报道了 4 株具有降解 AFB<sub>1</sub> 活性的菌。其中, *Rhodococcus erythropolis* 和 *Mycobacterium fluoranthenorans* 菌的胞外提取物在 30 °C 分别与 AFB<sub>1</sub> 反应 4 h 后, 降解率都在 90% 以上, 8 h 后基本检测不到 AFB<sub>1</sub> 残留。还对胞外提取物在热处理和蛋白酶 K 处理后进行了解毒效果测定, 发现降解率降低了, 因此, 认为解毒机理是酶促反应。国内刘大岭<sup>[9]</sup> 研究小组发现从假蜜环菌 (*Armillariella tabescens*) 中提取的粗酶液可使样品中的 AFB<sub>1</sub> 含量减少 80%。Guan 等<sup>[10]</sup> 用香豆素培养基筛选出的嗜麦芽窄食单胞菌 (*Stenotrophomonas maltophilia*) 能降解 AFB<sub>1</sub>, 降解率为 82.5%; 降解率受温度和 pH 值的影响, Zn<sup>2+</sup> 和蛋白激酶能抑制毒素降解反应。推测该菌降解 AFB<sub>1</sub> 的成分为酶, 并优化了其培养基及发酵条件。王宁<sup>[11]</sup> 等从土壤中分离到 1 株具有降解 AFB<sub>1</sub> 活性的橙色粘球菌, 并对其产酶条件进行了优化, 为日后规模化发酵提供依

据。

由于 AFB<sub>1</sub> 的基本结构为双呋喃环和氧杂萘邻酮 (香豆素), 作者选用香豆素作为培养基的惟一碳源从花生土壤和发霉花生粕中筛菌<sup>[12]</sup>。通过比较这些菌的细胞以及发酵上清液对 AFB<sub>1</sub> 的作用能力, 最终选出作用效果最佳的一株菌, 并对其进行菌种鉴定。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

1.1.1 样品 花生土壤和发霉花生粕。

1.1.2 培养基 初筛培养基为无碳源培养基中加入 0.1 g/dL 的香豆素。无碳源培养基配方为 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 g, CaCl<sub>2</sub> 0.1 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1 g, NaCl 0.1 g, MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.5 g, 酵母膏 0.2 g, 水 1 000 mL, 琼脂 15 g/L, pH 7.0, 121 °C 灭菌 20 min 备用。发酵培养基为 LB 培养基, 121 °C 灭菌 20 min 备用。

1.1.3 主要试剂及设备 黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>: 纯度 ≥ 99%, Fermentek 公司产品; 香豆素; ELISA 试剂盒: 江苏省微生物研究所产品; Thermo MK3 酶联免疫检测仪。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 AFB<sub>1</sub> 的准备

1) AFB<sub>1</sub> 贮备液: 将 10 mg AFB<sub>1</sub> 溶解在 50 mL 苯-乙腈 (体积比 98: 2) 溶液中, 质量浓度为 200 μg/mL。

2) AFB<sub>1</sub> 工作液: 取一定量的 AFB<sub>1</sub> 贮备液, 用 N<sub>2</sub> 吹, 挥发掉溶剂苯和乙腈, 加入一定比例的磷酸盐缓冲液 (PBS, pH 7.4), 使 AFB<sub>1</sub> 最终质量浓度为 200 μg/L。

1.2.2 菌株的初筛 以香豆素为培养基的惟一碳源, 从花生土壤和发霉花生粕中筛菌。配制质量浓度为 0.1 g/dL 的香豆素溶液, 过滤灭菌, 加入无碳源培养基中。分别将花生土壤和发霉花生粕的稀释液涂布在上述培养基中, 37 °C 培养箱中培养, 观察菌株的生长情况。

1.2.3 菌液的准备 先将初筛得到的 7 株菌在 LB 培养基中活化, 再转接在 LB 液体培养基中摇床培养 (37 °C、180 r/min) 12 h。

1.2.4 菌体细胞对 AFB<sub>1</sub> 的去除试验 取 1 mL 已培养 12 h 的菌体发酵液置于灭菌的 2 mL 离心管中, 10 000 r/min 离心 10 min。弃掉上清液, 细胞用灭菌的 PBS 悬浮起来, 漩涡振荡 20 s, 10 000 r/min 离心 10 min。细胞再重复冲洗一次。将冲洗完的细胞用 1 mL 已准备好的 PBS 毒素溶液悬浮起来,

置于 37 ℃ 培养箱中培养 72 h。培养结束后, 10 000 r/min 离心 10 min, 用竞争性酶联免疫方法 (ELISA) 检测上清液中 AFB<sub>1</sub> 的残留量, 并做空白对照。重复试验两次。

另将已培养 12 h 的菌体发酵液于 121 ℃ 加热处理 20 min, 冷却后按上述方法将细胞悬浮在 PBS 毒素溶液中, 置于 37 ℃ 培养箱中培养 72 h。培养完后离心检测, 并做空白对照, 试验重复两次。

**1.2.5 菌体发酵上清液对 AFB<sub>1</sub> 的降解试验** 取 200 μL 已制备好的 PBS 毒素溶液于灭菌的 2 mL 离心管中。将 1 mL 已培养 12 h 的菌体发酵液于 10 000 r/min 离心 10 min, 取出 800 μL 上清液置于盛有毒素的 2 mL 离心管中, 混匀, 于 37 ℃ 培养箱中培养 72 h。培养完毕后用 ELISA 方法检测 AFB<sub>1</sub> 的残留量, 并以无菌的发酵液加 AFB<sub>1</sub> 做空白对照, 试验重复两次。

**1.2.6 残留黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的 ELISA 测定** AFB<sub>1</sub> 质量浓度按间接竞争 ELISA 方法操作, 450 nm 酶标仪读数, 对照标准曲线计算 AFB<sub>1</sub> 质量浓度, 计算公式:

$$y = \frac{x_1 - x_2}{x_1} \times 100$$

其中,  $x_1$  为空白对照 AFB<sub>1</sub> 质量浓度 (μg/L);  $x_2$  为处理后残留 AFB<sub>1</sub> 质量浓度 (μg/L);  $y$  为毒素去除率 (%)。

**1.2.7 菌株的鉴定** 考虑到试验的目的和试验的可操纵性, 采用传统鉴定方法和 16S rDNA 序列分析相结合进行细菌鉴定。

## 2 结果与分析

### 2.1 菌株的初筛

通过初筛得到 7 株菌, 这些菌株能在以香豆素为惟一碳源的培养基中良好生长, 分别命名为 TRS-1, TRS-2, TRS-3, TRS-4, FMS-1, FMS-2, FMS-3。

### 2.2 菌体细胞对 AFB<sub>1</sub> 的去除作用

初筛得到的 7 株细菌其细胞对 AFB<sub>1</sub> 的去除作用见表 1。可见, 7 株细菌的细胞对 AFB<sub>1</sub> 都有不同程度的去除作用。其中, 对 AFB<sub>1</sub> 去除率最高的是 TRS-3 菌, 其活细胞去除率为 48.26%, 死细胞去除率达到 53.56%; FMS-1 菌其细胞对 AFB<sub>1</sub> 的去除率最低, 其活细胞去除率仅为 23.77%, 死细胞去除率为 26.47%。

表 1 菌株细胞对 AFB<sub>1</sub> 的去除效果

Tab. 1 Effect of the cells on the removal of AFB<sub>1</sub>

菌株编号	活细胞去除率/%	死细胞去除率/%
TRS-3	48.26	53.56
TRS-1	40.35	44.30
FMS-2	36.07	37.64
FMS-1	23.77	26.47
TRS-4	33.23	31.72
FMS-3	28.04	29.13
TRS-2	34.05	33.21

由表 1 可知, 细菌的死细胞也可以降低 AFB<sub>1</sub> 的量, 且死细胞对 AFB<sub>1</sub> 的作用属于物理吸附作用, 而不是新陈代谢<sup>[13]</sup>。细菌活细胞去除 AFB<sub>1</sub> 的机制没有研究很清楚, 其中的作用机制可能包括吸附作用及活细胞对 AFB<sub>1</sub> 的利用代谢作用。普遍认为与吸附作用相关的细胞成分主要是肽聚糖、细胞壁多糖和蛋白质<sup>[14]</sup>, 且环境因素也会影响细菌的吸附作用。此外, 菌体与 AFB<sub>1</sub> 主要是通过非共价方式结合的, 例如细菌表面的疏水基团<sup>[15]</sup>。由表 1 可见, 7 株菌中大多数菌的死细胞比活细胞更易于去除 AFB<sub>1</sub>。其原因可能是加热处理改变了细菌的表面特性<sup>[16]</sup>, 使细菌更容易吸附 AFB<sub>1</sub>。

### 2.3 菌体发酵上清液对 AFB<sub>1</sub> 的降解作用

7 株细菌的发酵上清液对于 AFB<sub>1</sub> 有不同程度的降解作用, 结果见表 2。

表 2 菌株发酵上清液对 AFB<sub>1</sub> 的降解效果

Tab. 2 Effect of the supernatant fluid on the degradation of AFB<sub>1</sub>

菌株编号	AFB <sub>1</sub> 降解率/%
TRS-3	78.55
TRS-1	48.20
FMS-2	61.56
FMS-1	46.23
TRS-4	37.45
FMS-3	30.77
TRS-2	31.25

由表 2 可知, TRS-3 菌的降解效果最好, 降解率高达 78.55%; 降解率最低的为 FMS-3 菌, 仅有 30.77%。比较 7 株菌的菌体细胞和发酵上清液对 AFB<sub>1</sub> 的去除作用, 发现大多数菌的发酵上清液对 AFB<sub>1</sub> 的降解作用要高于其细胞对毒素的去除作用,

仅 TRS-2 菌例外。关于微生物对 AFB<sub>1</sub> 的降解作用已经有很多报道, 研究认为主要是微生物中的酶在起作用<sup>[8-12]</sup>。作者筛选出的巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*), 其发酵上清液对 AFB<sub>1</sub> 的降解作用初步估计也是一种酶的作用, 还需要进一步试验验证。

### 2.4 菌株鉴定结果

通过表 1, 表 2 可以看出, TRS-3 菌去除 AFB<sub>1</sub> 的效果最好, 此菌筛选自花生土壤。采用传统鉴定方法和 16S rDNA 序列分析相结合进行细菌鉴定, 确定为巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*), 其 16S rDNA 序列见图 3。

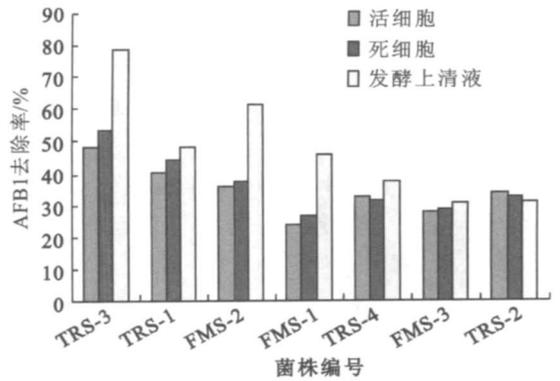


图 2 菌体细胞与发酵上清液对 AFB<sub>1</sub> 的去除作用  
Fig. 2 Removal of aflatoxin B<sub>1</sub> by the cells and the supernatant fluid

```

GGGCAACCTGCCTGTAAGACTGGGATAACTCGGGAAACCGAAGCTAATACCGGATAGGATCTTCTCCT
TCATGGGAGATGATTGAAAGATGGTTTCGGCTATCACTTACAGATGGGCCCGCGTGCATTAGCTAGTT
GGTGAGGTAACGGCTCACCAAGGCAACGATGCATAGCCGACCTGAGAGGGTGATCGCCACACTGGGAC
TGAGACACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTAGGGAATCTTCCGCAATGGACGAAAGTCTGACG
GAGCAACGCCGCTGAGTGATGAAGGCTTTCGGGTCGTAAAACTCTGTTGTTAGGGAAGAACAAGTACG
AGAGTAACTGCTCGTACCTTGACGGTACCTAACCAGAAAGCCACGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGG
GTAATACGTAGTGGCAAGCGTTATCCGGAATTATTGGGCGTAAAGCGCGCAGCGGTTTCTTAAGT
CTGATGTGAAAGCCACGGCTCAACCGTGGAGGGTCATTGAAACTGGGAACTTGAGTGCAGAAGAGA
AAAGCGGAATTCACGTGTAGCGGTGAAATGCGTAGAGATGTGGAGAACACCAGTGGCGAAGGCGGCT
TTTTGGTCTGTAACGTACGCTGAGGCGCAAAGCGTGGGAGCAAACAGGATTAGATACCCTGGTAGTC
CACGCCGTAAACGATGAGTGCTAAGTGTTAGAGGGTTCCGCCCTTAGTGCTGCAGCTAACGCATTA
GCACTCCGCTGGGGAGTACGGTCGCAAGACTGAAACTCAAAGGAATTGACGGGGCCCGCACAAGCGG
TGGAGCATGTGGTTAATTGCAAGCAACGGAAGAACCTTACCAGGTCTTGACATCCTCTGACAACCTCT
AGAGATAGAGCGTTCCCCTCGGGGACAGAGTGACAGGTGGTGCATGGTTGTCGTAGCTCGTGTGCTG
GAGATGTTGGGTTAAGTCCCGCAACGAGCGCAACCCTTGATCTTAGTTGCCAGCATTAGTTGGGCACT
CTAAGGTGACTGCCGTTGACAAACCGGAGGAAGGTGGGGATGACGTCAAATCATCATGCCCTTATGAC
CTGGGCTACACACGTGCTACAATGGATGGTACAAGGGCTGCAAGACCGGAGGTCAAGCCAATCCCAT
AAAACCATTTCTCAGTTCGGATTGTAGGCTGCAACTCGCTACATGAAGCTGGAATCGCTAGTAATCGCG
GATCAGCATGCCGCGTGAATACGTTCCCGGCTTGTACACACCGCCGTCACACCAGAGAGTTTGT
AACACCCGAAGTCG

```

图 3 TRS 3 菌株 16SrDNA 的碱基序列

Fig. 3 16S rDNA sequence of strain TRS 3

将 TRS-3 菌株 16S rDNA 基因序列在 NCBI 使用 Blast 比对, 结果表明 TRS-3 菌与巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*) 同源性最高, 达到 100%。

一般认为, 同源性大于 98% 可以认为属于同一种。巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*) 去除黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>, 国内外尚未见报道。

### 3 结 语

以香豆素为惟一碳源初筛得到的 7 株细菌, 对 AFB<sub>1</sub> 都有不同程度的去除作用。其中作用效果最佳的是 TRS-3 菌, 经鉴定为巨大芽孢杆菌(*Bacillus*

*megaterium*), 国内外尚未见报道。而且实验结果支持以前所报道的结论, 细菌活细胞和死细胞对于 AFB<sub>1</sub> 都有去除作用。关于降解 AFB<sub>1</sub> 的活性产物和 AFB<sub>1</sub> 的降解产物还有待于进一步研究。

### 参考文献(References):

- [ 1 ] Kurtzman C P, Horn B W, Hesseltine C W. *Aspergillus nomius*, a new aflatoxin producing species related to *Aspergillus flavus* and *Aspergillus tamarii*[ J ]. **Antonie Van Leeuwenhoek**, 1987, 53(3): 147- 158.
- [ 2 ] Payne G A, Brown M P. Genetics and physiology of aflatoxin biosynthesis[ J ]. **Ann Rev Phytopathol**, 1998, 36: 329- 362.
- [ 3 ] 计成. 霉菌毒素与饲料食品安全[ M ]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 1- 2.
- [ 4 ] Haskard C A, EL-Nezami H S, Kankaanpaa P E, et al. Surface binding of aflatoxin B<sub>1</sub> by lactic acid bacteria[ J ]. **Appl Environ Microbiol**, 2001, 67(7): 3086- 3091.
- [ 5 ] 关舒, 胡新旭, 马秋刚, 等. 黄曲霉毒素的传统去毒方法和生物降解研究进展[ J ]. 饲料工业, 2008, 29(24): 57- 59.  
Guan Shu, Hu Xir xu, Ma Qir gang, et al. Aflatoxin detoxification by traditional methods and biological technology[ J ]. **Feed Industry**, 2008, 29(24): 57- 59. (in Chinese)
- [ 6 ] Fazeli, Mohammad R. , Hajimohammadali M. , Moshkani, Azamossadat, et al. Aflatoxin B<sub>1</sub> binding capacity of autochthonous strains of lactic acid bacteria[ J ]. **Journal of Food Protection**, 2009, 72(1): 189- 192.
- [ 7 ] Kankaanpaa P, Tuomola E, EL-Nezami H, et al. Binding of aflatoxin B<sub>1</sub> alters the adhesion properties of *Lactobacillus rhamnosus* strain GG in a CaC<sub>2</sub> model[ J ]. **Journal of Food Protection**, 2000, 63(3): 412- 414.
- [ 8 ] Teniola O D, Addo P A, Brost I M, et al. Degradation of aflatoxin B<sub>1</sub> by cell free extracts of *Rhodococcus erythropolis* and *Mycobacterium fluoranthenorans* sp. nov. DSM44556T[ J ]. **International Journal of Food Microbiology**, 2005, 105(2): 111- 117.
- [ 9 ] 刘大岭, 姚冬生, 黄炳贺, 等. 黄曲霉毒素解毒酶的固定化及其性质的研究[ J ]. 生物工程学报, 2003, 19(5): 603- 607.  
LIU Da ling, YAO Dong sheng, HUANG Bing he, et al. Characterization of immobilized aflatoxin detoxizyme[ J ]. **Chinese Journal of Biotechnology**, 2003, 19(5): 603- 607. (in Chinese)
- [ 10 ] Shu Guan, Cheng Ji, Ting Zhou, et al. Aflatoxin B<sub>1</sub> degradation by *Stenotrophomonas maltophilia* and other microbes selected using coumarin medium[ J ]. **International Journal of Molecular Sciences**, 2008, 9(8): 1489- 1503.
- [ 11 ] 王宁, 马秋刚, 计成, 等. 粘细菌降解黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的产酶条件优化[ J ]. 中国农业大学学报, 2009, 14(2): 27- 31.  
WANG Ning, MA Qir gang, JI Cheng, et al. Screening of culture condition for aflatoxin B<sub>1</sub> transformation enzyme from *Myxococcus fulvus*[ J ]. **Journal of China Agricultural University**, 2009, 14(2): 27- 31. (in Chinese)
- [ 12 ] 李俊霞, 梁志宏, 关舒, 等. 黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 降解菌株的筛选及鉴定[ J ]. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1459- 1463.  
Li Jun xia, Liang Zhi hong, Guan shu, et al. Screening and identification of aflatoxin B<sub>1</sub> degradation strains[ J ]. **Scientia Agricultura Sinica**, 2008, 41(5): 1459- 1463. (in Chinese)
- [ 13 ] Carolyn Haskard, Charlotte Binnion, Jorma Ahokas. Factors affecting the sequestration of aflatoxin by *Lactobacillus rhamnosus* strain GG[ J ]. **Chemico Biological interactions**, 2000, 128: 39- 49.
- [ 14 ] Lahtinen S J, Haskard C A, Ouwehand, A C, et al. Binding of aflatoxin B<sub>1</sub> to cell wall components of *Lactobacillus rhamnosus* strain GG[ J ]. **Food additives and contaminants**, 2004, 21: 158- 164.
- [ 15 ] Haskard C A, EL-Nezami H S, Kankaanpaa P E, et al. Surface binding of aflatoxin B<sub>1</sub> by lactic acid bacteria[ J ]. **Applied and Environmental Microbiology**, 2001, 67(7): 3086- 3091.
- [ 16 ] Lee Y K, EL-Nezami H, Haskard C A, et al. Kinetics of adsorption and desorption of aflatoxin B<sub>1</sub> by viable and nonviable bacteria[ J ]. **Journal of Food Protection**, 2003, 66(3): 426- 430.