

# 脱氧雪腐镰刀菌烯醇研究进展

付 杨, 李洪军, 贺稚非\*, 黄业传  
(西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

**摘 要:** 脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)是单端孢霉烯族化合物, 是镰刀菌产生的次级代谢产物。DON 存在于农作物以及食品和饲料中, 世界上许多地区都有 DON 毒素的检出报道。由于其具有较强毒性, 不仅对农业经济造成严重的损失, 而且严重威胁人类和动物的健康, 引起一系列不良反应例如呕吐、腹泻、胃肠道出血等。本文从 DON 的毒性作用、检出量、影响 DON 含量的因素、降解方法四方面进行综述。

**关键词:** 脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON); 检出量; 影响因素; 生物降解

## Progress in Research of Deoxynivalenol

FU Yang, LI Hong-jun, HE Zhi-fei\*, HUANG Ye-chuan  
(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Deoxynivalenol (DON), a trichothecene compound, is a secondary metabolite produced by *Fusarium*. DON is present in crops, animal feed and human food. A number of reports in the literature indicate that DON has been found in many areas all over the world. Due to its strong toxicity, it not only causes severe agricultural economic losses, but also brings serious threat to human and animal health and give rise to a series of adverse reactions such as vomiting, diarrhea, gastrointestinal bleeding and so on. Recent progresses made in the studies of DON toxicity, detectable levels in different areas of the world, factors affecting DON level and DON degradation approaches are reviewed, which will provide some references for further study of DON.

**Key words:** deoxynivalenol (DON); content; influencing factors; degradation

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)21-0289-04

脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)是一种单端孢霉烯族化合物。它主要来源于镰刀菌属, 其中禾谷镰刀菌和黄色镰刀菌是主要的产毒菌种<sup>[1]</sup>。DON 毒素污染粮食的情况非常严重, 许多粮谷类都会受到 DON 毒素的污染, 如小麦、玉米、燕麦和大麦<sup>[2]</sup>。被 DON 毒素污染的小麦更易发生小麦赤霉病, 谷物的活力以及农产品的营养价值也很大程度降低<sup>[3]</sup>, 对农业经济造成严重的损失。由于 DON 毒素性质稳定, 一般的食品生产加工过程很难破坏其毒性, 进入食物链后对人和动物的健康造成威胁。

1973 年美国的科学家从感染赤霉病的玉米中分离出了 DON 毒素, 1976 年我国也从赤霉病小麦中分离出了 DON 毒素<sup>[4]</sup>。近几年, 由于 DON 对粮食经济和人畜健康造成的巨大危害, 许多国家的科学家从各个方面展开了对 DON 毒素的研究, DON 毒素的检出量及如何更有效地降解 DON 毒素, 这些问题都是当前研究的热点问

题。本文综述 DON 毒素的毒性作用、检出量、影响 DON 含量的因素以及 DON 的降解方法, 为 DON 的后续研究提供理论基础

## 1 DON 的毒性作用

### 1.1 细胞毒性

DON 毒素具有很强细胞毒性, 对生长较快的细胞例如淋巴细胞、胸腺细胞、骨髓造血细胞等均具有明显的毒性作用。Cossette 等<sup>[5]</sup>发现 DON 毒素能破坏植物细胞的细胞壁, 对谷物种子细胞具有毒性作用。

### 1.2 遗传毒性

Schiefer 等<sup>[6]</sup>研究发现, DON 毒素会导致 V79 染色体发生畸变, 所以他认为 DON 可能具有遗传毒性作用。同时 1000mg/kg 以上的 DON 对胚胎有很强烈的毒性, 250mg/kg 以上的 DON 有很明显的胎儿毒性和致畸作用<sup>[7]</sup>。

收稿日期: 2010-12-01

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(200903012)

作者简介: 付杨(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品微生物与发酵工程。E-mail: fyvivid1988@163.com

\* 通信作者: 贺稚非(1960—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品微生物学。E-mail: Zfhe2003@yahoo.com

### 1.3 急性毒性

人食用了被 DON 毒素污染的食品后,主要表现为恶心、腹泻、呕吐等症状。而动物常有的症状为体重减轻、厌食。对于不同动物的半致死量(LD<sub>50</sub>)<sup>[8-9]</sup>如表 1 所示,毒性为中等毒性。

表 1 DON 不同染毒途径的 LD<sub>50</sub>  
Table 1 LD<sub>50</sub> of DON by different exposure approaches

动物种属	接触途径	LD <sub>50</sub> (mg/kg)
小鼠	经口	46~78
	腹腔注射	49~70
10 日龄鸭	皮下注射	27
雏鸡	经口	140

### 1.4 慢性毒性

李华<sup>[10]</sup>的动物实验表明,将混有赤霉病小麦的饲料喂养大鼠 18 个月,发现高比例组大鼠的睾丸、子宫受到了一定损害。2005 年,李伟群<sup>[11]</sup>首次提出人类骨关节炎的发生与 DON 有关,并已经得到初步证明, DON 在骨关节炎发病过程中的病因学意义。

## 2 DON 在各个地区的检出量

### 2.1 欧洲地区

Bindera 等<sup>[12]</sup>对欧洲地区的谷物进行检测,结果表明欧洲北部的检出率最高(70%)最大的含量是 5510 μg/kg。欧洲中部地区 66% 的样品检测出含有 DON,最大含量是 8020 μg/kg。欧洲南部和地中海的 DON 检出率是 52%,含量是 156 μg/kg。而欧洲各个国家的 DON 检出量也有一定的差异,这可能与地理位置、气候条件不同有关。如 Margit 等<sup>[13]</sup>用 GC-MS 方法检测了德国谷类食品,得到 DON 的含量为 389 μg/kg。Igor 等<sup>[14]</sup>检测了塞尔维亚地区玉米、小麦、大豆、向日葵、大麦中 DON 的含量,结果显示 DON 在样品中的平均检出率分别为 44.7%、37.5%、47.4%、8.3% 及 25%。DON 的检出浓度范围为 40~2460 μg/kg。Castillo 等<sup>[15]</sup>检测出西班牙谷物食品的 DON 的浓度为 53.9 μg/kg。

### 2.2 非洲地区

Timothy 等<sup>[16]</sup>用 HPLC 与 MS 联用的方法检测了尼日利亚的 180 个感染了镰刀菌毒素的玉米样品,检测出 DON 的含量为 9.6~745.1 μg/kg,平均含量为 226.2 μg/kg。Fatma 等<sup>[17]</sup>检测突尼斯 65 个小麦样品中的 DON 含量,检测出 83% 的小麦中含有 DON 真菌毒素,含量范围为(12.8 ± 0.05)~(30.5 ± 0.133) μg/g。

### 2.3 美洲地区

美国 1991 年冬小麦中的 DON 含量小于 0.1~4.9 mg/kg,而春小麦的 DON 含量小于 0.1~0.9 mg/kg。1993 年小麦中的 DON 含量小于 0.5~18 mg/kg<sup>[18]</sup>。美国是第一个发现 DON 毒素的国家,但是这几年关于 DON 毒素检出量的报道较少。

Dinorah 等<sup>[19]</sup>检测了 1996—2002 年间乌拉圭地区的大麦产品中 DON 含量,实验测定了 292 个样品中的 DON 含量,26%~100% 的样品都检测出含有 DON, DON 的检出量范围是 0.5~6349 μg/kg。

### 2.4 亚太地区

Bindera 等<sup>[12]</sup>对亚太地区的谷物进行检测,亚洲北部 DON 的检出率是 71%,其平均含量为 925 μg/kg。东亚地区 2040 个样品中只有 14% 的样品检测出了 DON, DON 的平均含量为 162 μg/kg。南亚地区 32 个样品中只检测出 1 个样品含有 DON,其含量为 76 μg/kg。大洋洲样品的 DON 检出率为 31%。

王晓云等<sup>[20]</sup>用气相色谱法对我国河南、广东等 5 个省份生产的玉米和小麦进行调查, DON 的检测率为 66.46%,平均含量玉米为 25.88 μg/kg,小麦为 50.04 μg/kg。熊凯华等<sup>[21]</sup>用酶联免疫法和高效液相色谱法对安徽、河南的玉米小麦中 DON 含量进行检测,检出平均含量为 424.0 μg/kg。

以上总结了近几年世界各地 DON 毒素的检出情况, DON 毒素在全世界范围都存在较高的污染率。由于各个地区的检测标准不同,因此各个地区应该参考本地区的检测方法和近几年的检出量制定限量标准值。

## 3 影响 DON 含量的因素

### 3.1 温度、水分的影响

DON 毒素是感染了作物的镰刀菌产生的真菌毒素,影响 DON 产生的因素首先是温度和湿度,在温度逐渐回升、雨水足够充足的条件下,镰刀菌容易侵染作物<sup>[22]</sup>。根据数据显示,禾谷镰刀菌的最适生长水分活度是 0.88,而黄色镰刀菌是 0.87<sup>[6]</sup>。Martins 等<sup>[23]</sup>研究发现, DON 的最适繁殖温度是 22~28℃。而 37℃ 条件下镰刀菌不会产生 DON,而镰刀菌产生毒素的湿度为 40%~50%,例如,在中国沿淮地区以及长江中下游地区阴雨天较多, DON 污染情况最严重,这就说明了 DON 毒素容易在多雨水的地区繁殖。如果适当控制温度为室温,降低谷物的水分含量则可以达到降低 DON 含量的目的<sup>[24]</sup>。

### 3.2 储存条件的影响

Ales 等<sup>[25]</sup>通过实验研究了由被镰刀菌感染的有机小麦谷物生产的面粉在经过 120d 的不同贮存条件真菌毒素的残留量。根据数据分析发现食品用纸袋包装的 DON 含量比聚乙烯塑料袋包装条件下 DON 减少得快,进一步表明储存条件下面粉中 DON 的含量水平很大程度上取决于包装材料的类型,而并不是面粉储存的温度和面粉的加工类型。因此在食品储存条件的选取也能够控制 DON 的含量。

### 3.3 pH 值的影响

不同的时间(15、30、60min)条件下检测不同的温度(100、120、170℃),不同的 pH 值(4.0、7.0、10.0)

对脱氧雪腐镰刀菌烯醇稳定性的影响。实验结果发现当 DON 毒素在 pH 值为 4.0 条件, 温度 100℃ 或 120℃ 条件下没有被破坏, 只有 170℃、60min 过后才观察到 DON 部分被破坏。在 pH 值为 7.0 的条件下, DON 则很稳定, 只有 170℃ 的条件下 15min 就被破坏。而 pH 值为 10.0 的条件下, DON 在 100℃ 的温度条件经过 60min 就能被部分破坏, 在 120℃ 条件下 30min 或 170℃ 条件下 15min 就能完全的被破坏<sup>[26]</sup>。

## 4 降解 DON 的方法

### 4.1 物理方法

#### 4.1.1 热处理方法

DON 性质非常稳定, 在 120℃ 很稳定, 180℃ 中度稳定, 210℃、30~40min 即可被破坏<sup>[27]</sup>。制作面包时, 发现烤制过后 DON 的含量会降低 24%~71%<sup>[26]</sup>。

#### 4.1.2 研磨去壳法

据 Bullerman 等<sup>[26]</sup>的实验, DON 毒素可以通过湿磨的方法, 溶解于液体中, 所以可以通过研磨的方法清除 DON 毒素。根据 Ronald 等<sup>[28]</sup>研究, 表明镰刀菌感染谷物是在水解酶的作用下通过种皮, 穿过细胞最后到达胚乳, 由此可以看出谷物被镰刀菌污染最严重的部位是外壳部分。Rios 等<sup>[29]</sup>设计实验, 将感染镰刀菌大麦的外壳去除后, 检测脱氧雪腐镰刀菌烯醇含量, 并绘制了 DON 的减少量和谷物移除量的线性关系图。发现第一次去除硬质小麦的壳既移除了 10% 谷物组织后, DON 的含量减少了 45%, 第二次去壳既移除了 35% 谷物组织后, DON 的含量只剩 30%。因此对于带壳的粮食作物通过去壳比研磨更能有效的去除谷物中 DON 的含量。

#### 4.1.3 辐照法

用中等强度(0.1mW/cm<sup>2</sup>)和高强度(24mW/cm<sup>2</sup>)对样品进行辐照, 实验发现在中等强度的紫外光照射下, DON 的浓度随着时间的推移逐渐减少, 60min 后便检测不到 DON 毒素。高强度的紫外光条件下, DON 的含量减少得更加迅速<sup>[30]</sup>。Park 等<sup>[31]</sup>运用自制的微波诱导等离子体处理 DON, 利用薄层色谱和 HPLC 检测 DON 的含量, 5s 后 DON 就彻底被清除。

### 4.2 化学方法

#### 4.2.1 臭氧法

臭氧能降解 DON 的含量, 25mg/m<sup>3</sup> 的臭氧能将真菌毒素降解到不能被 UV 或 MS 检测出来的水平<sup>[31]</sup>。

#### 4.2.2 碱法

碱性条件能够引起一些单端孢霉烯的结构改变。例如, DON 在碱性条件下, 12,13-环氧基被打开<sup>[32]</sup>。由于 C12 和 C13 位的环氧基团对 DON 的致呕吐毒性有重要作用, 所以 DON 的毒性很被大程度降低。NH<sub>3</sub> 和 NaOH

是食品工业的常用碱液。用碱液处理发霉的玉米 1h 和 18h 后发现 DON 的浓度分别减少了 9% 和 85%<sup>[33]</sup>。用 0.1mol 的 NaOH 溶液处理 DON, 1h 后发现 DON 被分解为 3 种同分异构体, 它们的毒性都比 DON 的毒性低<sup>[34]</sup>。

#### 4.2.3 氧化法

氧化能够引起分子结构的改变从而改变生物活性, NaClO 能在室温下将 DON 转化为单产物, 该产物无毒性。Young 等<sup>[33]</sup>发现 1% 的氯气含量也能降低发霉玉米中 DON 的含量。在 22℃ 条件下用 2% 的抗坏血酸处理感染小麦 24h, 发现 DON 的含量降低了 50%。用 NaHSO<sub>3</sub> 处理的小麦生产的面粉发现 DON 只污染了 5%, 在 100℃ 条件下, 22% 的水分 1% 的 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的饱和蒸汽处理 15min 后, 能将发霉小麦的 DON 含量从 7.6mg/kg 降到 0.28mg/kg<sup>[33]</sup>。NaHSO<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 能够将 DON 转化为 DON-磺酸盐。该物质的毒性要比 DON 的毒性低<sup>[34]</sup>。

#### 4.2.4 糖基化法

霉菌毒素的糖基化分为两种, 一种是霉菌毒素与葡萄糖醛酸形成共价结合, 即葡萄糖醛酸单端孢, 另一种是霉菌毒素中添加糖残基, 即单端孢苷。这两种形式都能降解 DON 毒素。当 DON 的污染量在 1.31 μmol/L 时, 有 50% 的细胞受到抑制, 然而当 270 μmol/L 的 DON 和糖苷结合后再侵染细胞发现根本没有细胞毒性<sup>[35]</sup>。

### 4.3 生物学法

鱼内脏的微生物能把真菌毒素转化为毒素小的化合物, 一种鲑鱼的微生物能在 15℃、96h 条件下将 DON 转化为毒性较小的 DON 降解产物, 实验进一步发现代号为 C133 的微生物在温度为 4~25℃、pH4.5~10.5 都有高效的转化能力<sup>[36]</sup>。一种土壤中的农杆菌属 E3-39 能将 DON 转化为 3 种产物, 其中最主要的产物是 3-酮-DON, 它的毒性是 DON 的 1/10<sup>[37]</sup>。目前优杆菌属 BBSH797 是唯一用于商业产品中降低动物饲料中单端孢霉烯毒性的菌株。具体的方法是将胶囊状的细菌包埋在喂养家禽的饲料中, 结果显示这样的饲料能大幅度的降低 DON 对奶牛健康的影响<sup>[38]</sup>。LS100 细菌能将 DON 转化为 DOM-1, 据报道 DOM-1 的毒性是 DON 毒性的 1/55 倍。一种从土壤中分离得到的 *Aspergillus* 菌种能在无机盐培养基中把 DON 当作唯一碳源, 将 94.4% 的 DON 转化成一种化学物质, 这种化学物质的分子质量比 DON 的高 18.1<sup>[39]</sup>, 然而该种化学物质的化学结构和毒性还没有研究。

## 5 结 语

由于目前 DON 毒素广泛存在, 世界上大部分地区的农作物都检出含有该毒素。被污染的农作物失去营养价值, 对农业经济造成严重的损失, 人畜食用了污染的粮食会引起比较严重的不良反应, 因此对于 DON 毒素的清除是现阶段迫切需要解决的核心问题。随着技术

的深入, 降解 DON 毒素的方法不仅限于上述方法, 酶降解技术也是有效清除 DON 毒素的一种方法, 利用分子生物技术和基因工程技术选取能产生高能降解酶的优势菌种, 但是由于降解产物毒性的不确定性而使该种方法的运用受到限制。基于食品安全“从农田到餐桌”的监管体系, 预防 DON 毒素应该从源头抓起, 除了培养抗霉菌植物、加强田间管理, 在谷物中添加防霉菌复合添加剂也是未来研究的一个方向。

#### 参考文献:

- [1] 鲍淑清, 张克英, 陈海军. 饲料中呕吐毒素的危害与防治[J]. 中国饲料, 2007, 17(17): 34-36.
- [2] TUTELYAN V A. Deoxynivalenol in cereals in Russia[J]. Toxicology Letters, 2004, 153(1): 173-179.
- [3] PARK B J, KOSUKE T, YOSHIKO S K, et al. Degradation of mycotoxin using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure[J]. Surface and Coating Technology, 2007, 201(9/11): 5733-5737.
- [4] 庞炜, 王治伦, 吕社民, 等. 真菌毒素 DON 研究进展[J]. 中国地方病防治杂志, 1996, 11(6): 349-351.
- [5] COSSETTE F, MILLER J D. Phytotoxic effect of deoxynivalenol and gibberella rot resistance of corn[J]. Nat Toxins, 1995, 3(5): 383-388.
- [6] SCHIEFER B B, ROUSSAUX C G, HANDCOCK D, et al. Effects of low-level long-term oral exposure to T-2 toxin in CD-1 mice[J]. Food and Chemical Toxicology, 1987, 25(8): 591-601.
- [7] 王加生, 徐达道. 赤霉病粮及其毒素的致癌、致畸、致突变的研究[J]. 真菌学报, 1986, 5(1): 52-62.
- [8] FORSELL J H, JENSEN R, WITT M. Comparison of acute toxicities of deoxynivalenol (vomitoxin) and 15-acetyldeoxynivalenol in the B6C3F1 mouse[J]. Food and Chemical toxicology, 1987, 25(2): 155-162.
- [9] JAMES J, PESTKA. Deoxynivalenol: toxicity, mechanisms and animal health risks[J]. Animal Feed Science and Technology, 2007, 137(3/4): 283-298.
- [10] 李华. DON人工抗原的合成及其酶联免疫检测方法的建立[D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- [11] 李伟群. 真菌毒素与人体健康[M]. 北京: 人民军医出版社, 2005: 102-113.
- [12] BINDERA E M, TANB L M, CHINB L J, et al. Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, feeds and feed ingredients[J]. Animal Feed Science and Technology, 2007, 137(3/4): 265-282.
- [13] MARGIT S, MÜLLER H M, RÜFLE M, et al. Survey of *Fusarium* toxins in foodstuffs of plant origin marketed in Germany[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 97(3): 317-326.
- [14] IGOR J, VERICA J, BILJANA A. First survey of deoxynivalenol occurrence in crops in Serbia[J]. Food Control, 2008, 19(6): 545-550.
- [15] CASTILLO M A, MONTES R, NAVARRO A, et al. Occurrence of deoxynivalenol and nivalenol in Spanish corn-based food products[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2008, 21(5): 423-427.
- [16] TIMOTHY O A, URSULA H, PETR K. Occurrence of *Fusarium* species and trichothecenes in Nigerian maize[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 116(3): 350-357.
- [17] FATMA B, CHIRAZ Z, SALWA A, et al. Occurrence of deoxynivalenol in durum wheat in Tunisia[J]. Food Control, 2010, 21(3): 281-285.
- [18] PLACINTA C M, MELLO J P F D, MACDONALD A M C. A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins[J]. Animal Feed Science and Technology, 1999, 78(1/2): 21-37.
- [19] DINORAH P, FEDERICO B, FEDERICO R, et al. Deoxynivalenol in barley samples from Uruguay[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 114(2): 149-152.
- [20] 王晓云, 于雅琴, 俞琼. 2005年中国居民膳食 DON 污染调查及暴露评估[J]. 长治医学院学报, 2007, 21(2): 101-103.
- [21] 熊凯华, 胡威, 汪孟娟. 安徽河南粮食中脱氧雪腐镰刀菌烯醇和玉米赤霉烯酮的污染调查[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 265-268.
- [22] 李海军, 孙苏阳, 王永军. 小麦赤霉病的鉴别与防治[J]. 安徽赤霉病的鉴别与防治, 2009, 37(35): 17499-17500.
- [23] MARTINS M L, MARTINS H M. Influence of water activity, temperature and incubation time on the simultaneous production of deoxynivalenol and zearalenone in corn (*Zea mays*) by *Fusarium graminearum*[J]. Food Chemistry, 2002, 79(3): 315-318.
- [24] 王文龙, 刘阳, 李少英. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇与人类健康[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(6): 153-157.
- [25] ALES K, ANDREJ S, STANISLAV V, et al. Fate of deoxynivalenol and nivalenol during storage of organic whole-grain wheat flour[J]. Journal of Stored Products Research, 2010, 46(1): 66-71.
- [26] BULLERMAN L B, BIANCHINI A L. Stability of mycotoxins during food processing[J]. International Journal of Microbiology, 2007, 119(1/2): 140-146.
- [27] 吴永宁. 现代食品安全科学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 311.
- [28] RONALD W S, THOMAS M H. Use of *Fusarium graminearum* transformed with gfp to follow infection patterns in barley and Arabidopsis[J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2004, 64(1): 45-53.
- [29] RIOS G, PINSON-GADAIS L, ABECASSI S J, et al. Assessment of dehulling efficiency to reduce deoxynivalenol and *Fusarium* level in durum wheat grains[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(3): 387-392.
- [30] MURATA H, MITSUMATSU M, SHIMADA N. Reduction of feed-contaminating mycotoxins by ultraviolet irradiation: an *in vitro* study[J]. Food Addit Contam, 2008, 25(9): 1107-1110.
- [31] YOUNG J C, ZHU Honghui, ZHOU Ting. Degradation of trichothecene mycotoxins by aqueous ozone[J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44(3): 417-424.
- [32] BRETZ M, BEYER M, CRAMER B, et al. Hermal degradation of the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(17): 6445-6451.
- [33] YOUNG J C, SUBRYAN L M, POTTS D, et al. Reduction in levels of deoxynivalenol in contaminated wheat by chemical and physical treatment[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1986, 34(3): 461-465.
- [34] YOUNG J C, BLACKWELL B A, APSIMON J W. Alkaline degradation of the mycotoxin 4-deoxynivalenol[J]. Tetrahedron Letters, 1986, 27(9): 1019-1022.
- [35] WU Xianai, MURPHY P, CUNNICK J, et al. Synthesis and characterization of deoxynivalenol glucuronide: its comparative immunotoxicity with deoxynivalenol[J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(10): 1846-1855.
- [36] SHU Guan, HE Jianwei, YOUNG J C, et al. Transformations of trichothecene mycotoxins by microorganisms from fish digesta[J]. Aquaculture, 2009, 290(3/4): 90-95.
- [37] SHIMA J, TAKASE S, TAKAHASHI Y, et al. Novel detoxification of the trichothecene mycotoxin deoxynivalenol by a soil bacterium isolated by enrichment culture[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1997, 63(10): 3825-3830.
- [38] HOCHSTEINER W, SCHUH M, LUGER K, et al. Influence of mycotoxins contaminated feed blood parameters and milk production[J]. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 2000, 113(2): 14-21.
- [39] HE Chenghua, FAN Yanhong, LIU Guofang, et al. Isolation and identification of a strain of *Aspergillus tubingensis* with deoxynivalenol biotransformation capability[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2008, 9(12): 2366-2375.