

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.06.020

米扁虫对玉米中黄曲霉毒素 B₁ 含量影响的研究

赵欣欣^{1,2}, 王殿轩¹, 肖惠惠¹, 刘鑫宇¹, 刘浩星¹, 孙奂一¹, 都立辉³

(1. 河南工业大学 河南粮食作物协同创新中心, 河南 郑州 450001; 2. 河南农业大学 河南 郑州 450002; 3. 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 江苏 南京 210023)

摘要: 了解在非霉变和不产毒的储存条件下, 原粮中昆虫对真菌毒素含量的影响具有重要生态学意义。测定了含黄曲霉毒素 B₁(AFB₁)的玉米分别接入 15、45 和 135 头/kg 米扁虫幼虫和成虫后不同存放时间 AFB₁ 含量。结果表明, 米扁虫幼虫和成虫接入一定时间后均可导致玉米中 AFB₁ 含量和霉菌总数显著降低, 米扁虫成虫对 AFB₁ 含量降低的作用大于幼虫, 玉米破碎粒率越低时 AFB₁ 含量降低越显著, 虫口密度越大、接入时间越长, AFB₁ 含量降低越显著。

关键词: 玉米; 黄曲霉毒素 B₁; 米扁虫; 影响

中图分类号: S379.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2019)06-0109-05

Influence of *Ahasverus advena* (Waltl) on aflatoxin B₁ content in maize

ZHAO Xin-xin^{1,2}, WANG Dian-xuan¹, XIAO Hui-hui¹, LIU Xin-yu¹,
LIU Hao-xing¹, SUN Huan-yi¹, DU Li-hui³

(1. Henan Collaborative Innovation Center of Grain Crops, Henan University of Technology, Zhengzhou Henan 450001; 2. Henan Agricultural University, Zhengzhou Henan 450002; 3. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing Jiangsu 210023)

Abstract: It is significant to understand the influence of insects among stored grain on the content of mycotoxin in the storage condition of non-mouldy and non-toxic. Aflatoxin B₁ (AFB₁) contents in the maize were detected after being infected by larvae and imagos of *Ahasverus advena*(Waltl) in different time. The results indicated that AFB₁ content and mold quantity decreased significantly in the maize infected by the larvae and imagos of *A. advena*. Imagos were more effective in decreasing AFB₁ content than larvae. The lower the broken kernels rate was, the more effective in decreasing AFB₁ content. AFB₁ content in maize decreased significantly with the insect densities increasing and time going.

Key words: maize; aflatoxin B₁; *Ahasverus advena*; influence

储粮昆虫与霉菌共生及相互影响是储粮生态学中诸生态因子关系的重要内容, 昆虫和霉菌在不同生态营养层级上相互关联^[1], 锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens)、脊胸露尾甲

Carpophilus dimidiatus (Fabricius)可以霉菌为食, 喜好在含霉菌的环境中生长^[2]。储粮昆虫在含有真菌毒素的环境中也可存活和生长发育, 玉米象 *Sitophilus zeamais* Motschulsky 可在伏马毒素含量为 1 935 μg/kg 的玉米中存活 20 d^[3], 黑菌虫 *Alphitobius diaperinus* Panzer 等昆虫也可在含脱氧雪腐镰刀菌烯醇的环境中正常生长^[4], 赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (Herbst)、米扁虫 *Ahasverus*

收稿日期: 2019-06-17

基金项目: 国家花生产业技术体系产后干燥与储藏岗位(CARS-13);
“十三五”国家重点研发计划课题(2017YFC1600804)

作者简介: 赵欣欣, 1988 年出生, 女, 博士。

通讯作者: 王殿轩, 1962 年出生, 男, 教授。

advena (Waltl) 和黄粉虫 *Tenebrio molitor* Linnaeus 在含 AFB₁ 的环境中也可正常生长和繁殖^[5-7]。粮食中昆虫的存在对真菌毒素含量也有一定的影响, 在 30%、70% RH 条件下水分含量 13.9% 的玉米中感染玉米象和赤拟谷盗 10 周后, 因霉变加剧和害虫危害导致玉米水分含量增加至 25%, 试虫密度增加 10 倍, 玉米中 AFB₁ 含量增加至 998 μg/kg, 之后至 15 周时因害虫大量存在和取食又导致了 AFB₁ 含量急剧降低^[6]。

在储粮过程中喜食霉菌的昆虫又被称为菌食性昆虫, 丝薪甲 *Dienerella filiformis* (Gyllenhal)、小蠹甲 *Typhaea stercorea* (Linnaeus)、锈赤扁谷盗和米扁虫等菌食性昆虫均可在霉变的储粮中大量发生^[2, 8-9]。其中米扁虫为重要的菌食性害虫, 可感染多种储藏物, 但对粮食的直接取食危害较小, 在霉变的储粮中更易发生。在正常(水分)未见发霉的储粮中米扁虫可存活但发生数量较少, 当粮食有一定霉变时其发生数量较多。米扁虫对含 AFB₁ 的粮食或食料具有较强的适应能力, 可在 AFB₁ 含量高达 4 000 mg/kg 的食料中存活, 且能繁殖产生子代^[5]。基于米扁虫对高含量毒素环境较强的适应能力和中国发明专利(CN201510281051.0)的方法设想, 如若将含有真菌毒素的粮食控制其处于不再霉变和产生毒素的环境条件中, 米扁虫在不对粮食造成明显危害的情况下存在一定时间后, 粮食中毒素含量有显著降低, 则有望成为利用昆虫消减原粮中 AFB₁ 含量的新技术路径。本实验研究了菌食性昆虫米扁虫幼虫和成虫存在于玉米中时其中 AFB₁ 含量变化, 以期探明米扁虫对玉米中 AFB₁ 含量的影响。

1 材料与方 法

1.1 试虫培养

实验所用米扁虫于 2015 年采自广西壮族自治区南宁某粮库的库存玉米中, 后在河南工业大学储藏物昆虫研究室以全麦粉、燕麦片和酵母粉(质量比 5:5:1)为饲料培养数代, 培养条件:(28±0.5)、(70±5)% RH, 分别采用 10 日龄幼虫和羽化 10 d 左右的成虫为试虫。

1.2 霉变玉米的培养

取百单 5 号玉米(容重 695 g/L) 110 kg, 喷雾加湿混匀装入塑料箱(580 mm×440 mm×365 mm)再置入冷库(5±0.5)中平衡水分。经 15 d 后混样检测水分含量达(17.0±0.5)%, 将实验样品置于(28±0.5)、(75±0.5)% RH 环境中使其霉变并产生毒素, 再经 15 d 后于(25±0.5)下吹风摊晾至水分含量降至(13.5±0.5)%, 以达到不能继续霉变和产生毒素的条件。分别称取(2.00±0.001) kg 上述玉米样品装入容积 5 L 的 PVC 塑料箱(250 mm×160 mm×140 mm)中, 箱体内壁上部表面环涂 4 cm 宽的聚四氟乙烯以防试虫爬出。另取同样玉米籽粒, 粉碎过筛, 取 φ5.0 mm 和 φ2.0 mm 筛层中间筛取物加入 5 L 的 PVC 塑料箱样品中混匀, 使样品破碎粒率分别为 5%和 10%。分别以 0、15、45 和 135 头/kg 虫口密度接入米扁虫幼虫或成虫, 用 120 目尼龙筛绢封盖, 置于(25±0.5)、(65±5)% RH 条件的控温室中, 在不同时间取样检测 AFB₁ 含量。每个处理设 3 个平行。

1.3 AFB₁ 含量测定

定时从设定样品堆四角和中心五个点取样 10 g, 粉碎后用德国 R-Biopharm 公司的 AFB₁ 含量测定试剂盒检测 AFB₁ 含量, 具体步骤如下(1)将样品置于 250 mL 锥形瓶中, 加入 70% 甲醇溶液 50 mL, 用振荡器以 200 r/min 速度振荡 3 min, 用定性滤纸过滤得滤液, 取 1 mL 滤液加 1 mL 蒸馏水稀释。(2)分别取试剂盒中各标准品溶液及样品溶液 50 μL 加入各微孔中并标注。(3)向各微孔中加入 50 μL 酶连接物溶液和 50 μL 的黄曲霉毒素抗体液, 充分混合, 于 25 下静置 30 min。(4)倒出微孔中液体, 将微孔板架倒置在吸水纸上, 拍打除去微孔中的液体, 加入 250 μL 洗涤缓冲液清洗, 再次倒掉微孔中液体, 重复上述操作两遍。(5)向各微孔中加入 100 μL 显色剂, 摇匀, 在 25 下避光静置 15 min, 加入 100 μL 反应终止液充分混合, 在 15 min 内用 BioTek 酶标仪于 450 nm 处测定各孔吸光度值。

1.4 霉菌总数的测定

霉菌总数的测定按照 GB/T 4789.15—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验霉菌和酵母计数》^[10]进行。

1.5 数据处理

实验数据用 Excel 软件整理, 根据标准品溶液浓度及对应吸光度值绘制标准曲线, 计算各样品 AFB₁ 含量, 采用 SPSS 20.0 软件进行误差分析和显著性检验 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 米扁虫幼虫存在对玉米中 AFB₁ 含量的影响

破碎粒率 5% 的玉米接入不同密度米扁虫幼虫在不同存放时间后的 AFB₁ 含量见表 1。未接入米扁虫的玉米样品在 35 d 内 AFB₁ 含量无显著变化, 稳定在 38.3 μg/kg。接入幼虫密度为 15、45 和 135 头/kg 的样品中 AFB₁ 含量显著降低的起始时间分别出现在 28、21 和 14 d, 幼虫存在一定时间后因其取食导致了样品中 AFB₁ 含量显著降低。经过 35 d 存在与取食后, 幼虫密度分别为 15、45 和 135 头/kg 的玉米样品中 AFB₁ 含量降低比率分别达到 13.7%、30.2% 和 37.1%, 样品中试虫存在时间延长, AFB₁ 含量降低比率增加, 且虫口密度大者玉米样品中 AFB₁ 含量降低更加显著, 表现出显著的幼虫密度效应和时间积累效应。样品中 AFB₁ 含量降低表现上应为米扁虫取食玉米表面上的物质, 包括霉菌及真菌毒素 (包括 AFB₁) 所致。米扁虫取食霉菌和毒素后能继续存活则与其体内对毒素类物质的解毒代谢和适应机制有关。

表 1 破碎粒率 5% 的玉米接入米扁虫幼虫不同存放时间的 AFB₁ 含量 μg/kg

时间/d	米扁虫幼虫密度/(头/kg)			
	0	15	45	135
0	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA
7	37.3±1.2aA	36.9±1.7aA	35.9±0.9abA	37.6±0.4aA
14	38.2±1.0aA	35.6±2.2aA	33.7±0.5abA	32.5±1.0bcA
21	39.3±0.6aA	35.0±0.7aA	31.5±1.7bcB	30.1±1.5cB
28	38.5±0.4aA	33.6±1.5abB	30.6±1.7cdB	26.3±2.7cB
35	38.8±1.6aA	33.5±0.6bB	27.1±0.8dB	24.4±1.2cB

*: 平均值±标准差 ($P < 0.05$)。小写字母表示相同密度不同检测时间结果的差异性, 大写字母表示同一检测时间不同密度结果的差异性, 下同。

破碎粒率 10% 的玉米接入不同密度米扁虫幼虫不同存放时间后的 AFB₁ 含量见表 2。无试虫的玉米样品在 35 d 内 AFB₁ 含量变化不大, 稳定在 37.9 μg/kg 左右。以 15、45 和 135 头/kg 幼虫密度接入后, 玉米样品中 AFB₁ 含量开始显著降低的时间分别出现在第 35、21 和 21 d 时。经过 35 d 后幼虫密度分别为 15、45 和 135 头/kg 的玉米样品中 AFB₁ 含量降低比率分别达 11.7%、25.3% 和 30.3%, 也表现出了显著的幼虫密度效应和时间积累效应。与表 1 相比, 样品破碎粒率增加, 呈现同样试虫密度下样品 AFB₁ 含量显著降低的开始时间延长、毒素降低幅度变小, 可能与破碎粒率增加后, 玉米中破碎粒较多地被取食, 相对减少了对霉菌及毒素的取食有关。

表 2 破碎粒率 10% 的玉米接入米扁虫幼虫不同存放时间的 AFB₁ 含量 μg/kg

时间/d	米扁虫幼虫密度/(头/kg)			
	0	15	45	135
0	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA
7	37.8±1.5aA	38.5±1.9aA	36.9±0.7abA	37.8±0.9aA
14	37.2±2.9aA	37.2±0.8aA	34.5±0.7abcA	34.2±1.0abA
21	38.0±1.6aA	35.1±0.4aAB	32.1±0.6bcdBC	30.5±0.7bcC
28	38.5±0.4aA	34.3±1.1abAB	30.4±1.1cdB	28.1±0.8bcB
35	38.3±0.7aA	33.8±0.9bB	28.6±1.5dB	26.7±0.5cB

2.2 米扁虫成虫存在对玉米中 AFB₁ 含量的影响

不同密度米扁虫成虫存在于破碎粒率 5% 的玉米中, 不同存放时间后的 AFB₁ 含量见表 3。未感染试虫的玉米样品经 35 d 后 AFB₁ 含量保持在 38.3 μg/kg 左右。成虫密度分别为 15、45 和 135 头/kg 的玉米样品中 AFB₁ 含量相应在第 28、21 和 14 d 开始显著降低, 成虫存在于玉米中的取食活动也导致 AFB₁ 含量显著降低。经 35 d 后成虫密度为 15、45 和 135 头/kg 玉米中 AFB₁ 含量降低比率分别达 24.2%、36.6% 和 51.8%, 成虫密度增加玉米中 AFB₁ 含量降低比率增大, 玉米中 AFB₁ 含量的降低同样因成虫密度和感染时间而呈现明显的正密度效应和时间积累效应。与表 1 结果对比, 破碎粒率相同的玉米样品在成虫存在状态下, 其中 AFB₁ 含量在同样时间内降低幅度明显

较幼虫存在时大。其原因与成虫和幼虫在玉米中存在期间的活动和发育不同有关,米扁虫幼虫接入后很快进入了不食不动的前蛹期和蛹期,该历期约经历 5 d,即幼虫接入后并非一直处于取食状态;而接入的米扁虫成虫处于产卵期(该成虫羽化 3~4 d 后即可开始产卵,且持续近整个寿命期),接入后一直取食、产卵后新孵化幼虫加入取食等,总体上造成成虫存在期玉米样品中 AFB₁ 含量降低较快、降低幅度也较大。

表 3 破碎粒率 5% 的玉米接入米扁虫成虫不同存放时间的 AFB₁ 含量 $\mu\text{g}/\text{kg}$

时间/d	米扁虫成虫密度/(头/kg)			
	0	15	45	135
0	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA
7	37.3±1.2aA	37.3±2.5aA	33.8±1.8abA	35.9±0.8abA
14	38.2±1.0aA	35.1±2.2aA	32.4±0.9abcA	31.1±1.0bcA
21	39.3±0.6aA	30.4±1.0bB	27.5±1.7bcdB	28.8±1.2cB
28	38.5±0.4aA	31.1±2.1bB	26.6±0.7cdBC	23.6±0.8dC
35	38.8±1.6aA	29.4±1.7bBC	24.6±1.2dBC	18.7±0.8eC

不同密度米扁虫成虫存在于破碎粒率 10% 的玉米中,不同存放时间后的 AFB₁ 含量见表 4。无试虫样品中 AFB₁ 含量在 35 d 内保持在 37.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。以 15、45 和 135 头/kg 的密度接入成虫后,玉米样品 AFB₁ 含量开始显著下降的时间分别在 21、21 和 14 d 时。经过 35 d 后成虫密度为 15、45 和 135 头/kg 的样品中 AFB₁ 含量降低比率相应为 19.8%、31.9%和 41.8%,同样表现出成虫密度增加和存在时间延长 AFB₁ 降低比率相应增加,这也与米扁虫成虫密度增加、连续取食、产卵继而幼虫增加取食量增加等有关。

表 4 破碎粒率 10% 的玉米接入米扁虫成虫不同存放时间的 AFB₁ 含量 $\mu\text{g}/\text{kg}$

时间/d	米扁虫成虫密度/(头/kg)			
	0	15	45	135
0	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA	37.7±1.6aA
7	37.8±1.5aA	39.5±3.4aA	35.9±0.8abA	37.5±0.6aA
14	37.2±2.9aA	35.9±1.4aA	33.8±1.0abcA	32.2±1.3bA
21	38.0±1.6aA	33.8±1.3bB	31.1±0.7bcdBC	28.9±1.1bcC
28	38.5±0.4aA	31.5±1.1bcB	28.3±1.4cdBC	25.6±0.7cC
35	38.3±0.7aA	30.7±0.6cB	26.1±0.8dC	22.3±0.3cC

2.3 米扁虫存在对玉米中霉菌总数的影响

玉米样品初始及储存 35 d 后的霉菌总数见表 5,在实验条件下初始霉菌数量 $8.6 \times 10^6 \text{ cfu}/\text{g}$ 的玉米样品经 35 d 后,霉菌总数降低至 $6.1 \times 10^6 \text{ cfu}/\text{g}$,说明玉米在存储过程中其中霉菌生长受到显著抑制。在接入试虫密度 45 头/kg 及以上时,35 d 后样品中霉菌总数与无虫样品相比更是显著减少,幼虫和成虫密度为 135 头/kg 时破碎粒率 5% 的样品中霉菌总数分别降低至 3.9×10^6 和 $3.6 \times 10^6 \text{ cfu}/\text{g}$ 。试虫密度增加样品中霉菌总数减少显著,表明米扁虫存在过程中取食玉米上的霉菌造成霉菌总数降低。

表 5 玉米样品初始和实验期后的霉菌总数 $\times 10^6 \text{ cfu}/\text{g}$

试虫	破碎粒率/%	初始带菌量	米扁虫密度/(头/kg)			
			0	15	45	135
幼虫	5		6.0±0.3b	5.4±0.1bc	4.7±0.2cd	3.9±0.3d
	10	8.6±0.4a	6.1±0.4b	5.7±0.1bc	4.8±0.6cd	4.1±0.2d
成虫	5		6.0±0.3b	5.0±0.2bc	4.2±0.2cd	3.6±0.3d
	10		6.1±0.4b	5.5±0.1bc	4.6±0.2cd	3.8±0.2d

3 讨论

对于菌食性昆虫能以霉菌为食已多有报道,嗜卷书虱 *Liposcelis bostrychophila* (Badonnel) 和虚伪书虱 *Liposcelis corrodens* (Heymons) 可以黑曲霉菌、黄曲霉菌和青霉菌等霉菌为食^[11];米扁虫可以阿姆斯特丹曲霉菌、白曲霉菌和柑橘青霉菌为食完成从卵到成虫的发育过程^[8]。一些储粮害虫也能在含有 AFB₁ 的环境中发生^[6,9],在本研究实验条件下玉米样品不仅无继续霉变,更无 AFB₁ 含量继续增加,且米扁虫在含霉菌和 AFB₁ 的环境中存活和取食过程中可使玉米中 AFB₁ 含量和霉菌总数显著下降。

AFB₁ 毒性强、性质稳定且分布广泛,在玉米中发生较为普遍。世界多国制定了食品和饲料中 AFB₁ 的最高允许量,我国玉米中 AFB₁ 的最高允许量为 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。玉米在生长、收获、运输、加工、销售和储藏等环节都有可能污染 AFB₁^[12],而 AFB₁ 含量超标后须经脱毒后才可使用^[13]。目前关于 AFB₁ 消减方面的研究包括物理法(高温法、吸附法、水洗法、剔除法)、化学法(碱化法

和氧化法)和生物法(生物吸附、生物降解)等^[14]。这些方法面向实际应用时则普遍存在适用对象范围局限、消减后原料营养损失严重、处理后产品感官品质变差、方法操作不便及费用过高等问题^[15-16]。控制带有一定含量 AFB₁ 的原粮玉米处于不再霉变和产生毒素的环境条件下,将米扁虫接入其中,因米扁虫不取食完好的粮粒,仅以霉变的粮粒为食,因此对原粮危害量很小^[17],设若接入一定密度米扁虫于含有 AFB₁ 的玉米原粮中,经过一定时间的虫粮共处导致 AFB₁ 含量降低,之后再分离或杀死其中的昆虫,有望成为一种以虫降毒的新技术途径。昆虫的存在能够使 AFB₁ 含量降低,毒素的变化与去向可能是昆虫取食后将其转变为其它毒性较低的物质,如脐橙螟 *Amyelois transitella* (Walker) 和黑菌虫等昆虫取食 AFB₁ 后将其转变为毒性更低的黄曲霉毒素醇、黄曲霉毒素 M₁、黄曲霉毒素 Q₁ 和黄曲霉毒素 B_{2a} 等物质^[4, 18];谷实夜蛾 *Helicoverpa zea* 取食 AFB₁ 后代谢产物主要为毒性较低的黄曲霉毒素 P₁^[19]。

4 结论

控制 AFB₁ 含量超标的玉米原粮在非霉变和不再产毒的条件下,米扁虫幼虫和成虫在其中存在一定时间后,可以使玉米中 AFB₁ 含量显著下降,最大降低幅度可达 51.8%,相同条件下成虫导致 AFB₁ 含量降低效果大于幼虫,破碎粒率越低的样品中 AFB₁ 含量降低幅度越大。

参考文献:

[1] SELITSKAYA O G, GAVRILOVA O P, SCHENIKOVA A V, et al. The effect of toxin-producing *Fusarium* fungi on behavior of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Dryophthoridae)[J]. Entomological Review, 2014, 94(6): 820-825.

[2] 赵欣欣, 王殿轩, 白春启, 等. 锈赤扁谷盗等 3 种菌食性储粮害虫的发生分布调查[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(3): 83-89.

[3] FERRERIA-CASTRO F L, POTENZA M R, ROCHA L O, et al. Interaction between toxigenic fungi and weevils in corn grain samples[J]. Food Control, 2012, 26(2): 594-600.

[4] CAMENZULI L, VAN DAM R, DE RIJK T, et al. Tolerance and excretion of the mycotoxins aflatoxin B₁, zearalenone, deoxynivalenol, and ochratoxin a by *Alphitobius diaperinus* and *Hermetia illucens* from contaminated substrates[J]. Toxins, 2018, 10(2): 91-105.

[5] ZHAO X, WANG D, FIELDS P G, et al. Effect of aflatoxin B₁

on development, survival and fecundity of *Ahasverus advena* (Waltl)[J]. Journal of Stored Products Research, 2018, 77(5): 225-230.

[6] SINHA K K, SINHA A K. Impact of stored grain pests on seed deterioration and aflatoxin contamination maize[J]. Journal of Stored Products Research, 1992, 28(3): 211-219.

[7] BOSCH G, HJV F K, RIJK T C, et al. Aflatoxin B₁ tolerance and accumulation in black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and yellow mealworms (*Tenebrio molitor*)[J]. Toxins, 2017, 9(6): 185-194.

[8] DAVID M H, MILLS R B, SAUER D B. Development and oviposition of *Ahasverus advena* (Waltl) (Coleoptera, Silvanidae) on seven species of fungi[J]. Journal of Stored Products Research, 1974, 10(1): 17-22.

[9] TSAI W T, MASON L J, WOLOSHUK C P. Effect of three stored-grain fungi on the development of *Typhaea stercorea*[J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43(2): 129-133.

[10] 食品安全国家标准: 食品微生物学检验霉菌和酵母计数: GB/T 4789. 15—2016 [S].

[11] KALINOVIC I, ROZMAN V, LISKA A, et al. Significance and feeding of psocids (Liposcelididae, Psocoptera) with microorganisms[C]. Proceedings of the Ninth International Conference on Stored Product Protection. Campinas, Brazil: Brazilian Post-harvest Association, 2006, 1087-1094.

[12] SAKUDA S, PRABOWO D F, TAKAGI K, et al. Inhibitory effects of respiration inhibitors on aflatoxin production[J]. Toxins, 2014, 6(4): 1193-1200.

[13] 杨柳. 玉米黄曲霉毒素影响因子及脱毒技术研究进展[J]. 粮食与油脂, 2011, 178(2): 39-42.

[14] 王思强, 王北朝, 丁璐, 等. 黄曲霉毒素去除方法研究进展[J]. 江苏调味副食品, 2018, 153(2): 16-19.

[15] FARZNEH M, SHI Z Q, GHASSEMPOUR A, et al. Aflatoxin B₁ degradation by *Bacillus subtilis* UTBSP1 isolated from pistachio nuts of Iran[J]. Food Control, 2012, 23(1): 100-106.

[16] 罗小虎, 齐丽君, 房文苗, 等. 黄曲霉毒素 B₁ 污染玉米的比重筛分研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 13-18.

[17] DAVID M H. Laboratory Studies of the biology and behavior of the foreign grain beetle, *Ahasverus advena* (Waltl)[D]. Kansas: Kansas State University, 1972.

[18] LEE S E, CAMPBELL B C. In vitro metabolism of aflatoxin B₁ by larvae of navel orangeworm, *Amyelois transitella* (Walker) (Insecta, Lepidoptera, Pyralidae) and codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Insecta, Lepidoptera, Tortricidae)[J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2010, 45(4): 166-174.

[19] NIU G, WEN Z, RUPASINGHE S G, et al. Aflatoxin B₁ detoxification by CYP321A1 in *Helicoverpa zea*[J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2010, 69(1): 32-45. ㊟