

# 玉米污染产黄曲霉毒素真菌后营养成分变化的研究

欧静堃,李 慧,蔡 军,石 嵩

(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:**为探讨霉菌污染玉米主要营养成分的变化,利用霉菌污染模拟体系,用产黄曲霉毒素真菌孢子悬浮液处理玉米先玉335和纪元1号7d。结果表明,产黄曲霉毒素真菌污染后,两个品种玉米的蛋白质含量都降低,氨基酸的总含量也降低。但脂肪含量的变化及总糖含量的变化与品种有关,先玉335的脂肪含量不变,总糖含量增加了38.5%;纪元1号脂肪含量与对照相比降低32.2%,总糖含量降低了44.8%。霉菌污染使两个品种的玉米 $V_A$ 含量都降低, $V_E$ 和 $V_{B2}$ 含量都增加, $V_{B1}$ 的含量变化与品种有关。霉菌污染玉米会引起营养成分不同程度的变化,这种变化与品种有关,需要进行营养成分和安全性的评价后分级使用。

**关键词:**玉米;产黄曲霉毒素真菌;营养成分;分级使用

中图分类号:S 513 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2016)03-0045-04

## Study on the changes of nutritional components in maize contaminated by aflatoxin producing fungi

OU Jing-kun, LI Hui, CAI Jun, SHI Song

(Beijing Key Laboratory of Nutrition Health and Food Safety, COFCO Nutrition and Health Research Institute, Beijing 102209)

**Abstract:**To explore the changes of the major nutrient contents in maize which was contaminated by *Aspergillus* sp., the fungi pollution analog system was used to treat two varieties of maize, Xianyu 335 and Jiyuan NO. 1, for 7 days with aflatoxin producing fungal spore suspension. The results showed that the contents of protein and total amino acid of both varieties of maize were decreased. The changes of fat and sugar were related to maize variety. The content of fat in Xianyu 335 did not change, while total sugar content increased by 38.5%. The content of fat in Jiyuan NO. 1 decreased by 32.2% compared with control group, and the total sugar content decreased by 44.8%. The contents of  $V_A$  in both varieties of maize were reduced after being treated by the contaminated suspension, while the contents of  $V_E$  and  $V_{B2}$  increased respectively; the change of content of  $V_{B1}$  was related to maize variety. Fungi changed major nutrient in maize in different degree which was related to maize variety. The contaminated maize should be evaluated for nutrient contents and safety, and graded before being used.

**Key words:**maize; aflatoxin producing fungus; nutritional component; use according grade

作为世界主要粮食作物之一,玉米在我国是重要的粮、经、饲三元作物,其产量和消费量在大宗农产品中占有相当大的比重<sup>[1-2]</sup>。玉米籽粒的主要营养成分糖类、蛋白质和脂肪赋予玉米比较高的可利

用能量。除了含有糖类、蛋白质和脂肪等营养物质外,玉米还含有多种维生素和氨基酸等生理活性物质,这些营养成分含量的高低是评价玉米营养品质优劣的尺度<sup>[3]</sup>。

在玉米的种植过程中,不当的种植方式和环境条件,会导致霉菌侵染,严重影响玉米的生长。由于玉米中含有丰富的营养成分,为微生物的繁殖代谢

收稿日期:2015-12-01

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAK08B04-01)

作者简介:欧静堃,1987年出生,女,硕士。

通讯作者:李慧,女,高级工程师。

提供了良好的营养条件,一旦条件适宜,霉菌就会生长繁殖<sup>[4]</sup>,使玉米加工品质下降,营养物质减少,如蛋白质和氨基酸分解、脂肪和糖类物质减少、维生素减少等,甚至造成玉米霉变,产生真菌毒素。黄曲霉毒素在各类真菌毒素中被认为是最强烈的致癌物,可以致癌、致畸和导致突变<sup>[5-6]</sup>,实验动物半数致死量为0.36 mg/kg。特别污染产生黄曲霉毒素,将直接影响玉米及其制品的食用安全性。作为主要粮食作物之一,污染产黄曲霉毒素真菌玉米的分级评价更应受到重视。

本研究利用霉菌污染模拟体系,在短时间内使用产黄曲霉毒素真菌污染的玉米种子,通过研究玉米种子污染产黄曲霉毒素真菌后各种营养物质的变化,为霉菌污染玉米营养成分的评价及其分级利用提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料和试剂

原料:玉米种子先玉335和纪元1号,均购自中国农业科学研究院。产黄曲霉毒素真菌:*Aspergillus oryzae*,本实验室分离保存。

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%,Sigma公司;黄曲霉毒素总量免疫亲和柱购自美国VICAM公司;Ultimate AQ-C<sub>18</sub>色谱柱(4.6×150 mm, 5 μm),美国Thermo;维生素B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、A、E标准品购自Sigma公司;抗坏血酸溶液、无水硫酸钠、氢氧化锂、盐酸、柠檬酸三钠等试剂均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司;甲醇(色谱纯)购自Fisher Scientific公司。

### 1.2 仪器与设备

人工气候箱、恒温摇床,上海一恒科学仪器有限公司;显微镜,卡尔蔡司光学有限公司;氨基酸分析仪,赛卡姆公司S-433D;高效液相色谱仪(Alliance e2695),美国Waters公司;Ultimate 3000双三元液相色谱系统, Thermo Scientific公司;凯氏定氮仪,瑞士BUCHI K360;Milli-Q超纯水机;台式高速冷冻离心机,Beckman公司。

### 1.3 产黄曲霉毒素真菌孢子悬浮液的制备

在PDA平板上接种曲霉菌,温度为28℃培养7 d,用100 mL无菌水冲洗孢子,倒入250 mL无菌三角烧瓶中,用显微记数法观察,悬浮液孢子浓度为

$6 \times 10^8$ 个/mL<sup>[7-8]</sup>。

### 1.4 霉菌污染玉米种子

将玉米种子通过2%的次氯酸钠溶液和75%的酒精洗涤3遍,用灭菌蒸馏水洗涤3~5次,浸泡过夜备用。将孢子悬浮液接种于玉米种子上,置于28℃光照培养箱中,湿度80%,培养7 d取出测定各项指标。

### 1.5 玉米中营养物质的检测方法

玉米中粗蛋白质含量采用全自动凯氏定氮仪测定;粗脂肪含量采用索氏抽提法测定;糖类采用费林试剂法测定。

### 1.6 氨基酸测定

氨基酸含量:按照GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》,用盐酸水解法处理,采用氨基酸自动分析仪测定。

### 1.7 维生素含量测定

参照GB/T 5009.82—2003《食品中维生素E的测定》进行测定。

### 1.8 黄曲霉毒素含量的测定

准确称取玉米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》检测玉米中黄曲霉毒素的含量。

### 1.9 数据分析

实验数据采用Excel软件进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米受霉菌污染程度

霉菌侵染玉米7 d后,两个品种的玉米受污染程度不同,先玉335表面菌丝稀疏,纪元1号玉米种子表面可看出有明显的白色菌丝。

### 2.2 霉菌侵染后玉米主要营养成分的变化

由表1可以看出,受到霉菌侵染后,两个品种的玉米蛋白质含量都有所降低,先玉335降低了22.2%,纪元1号降低了27.3%;脂肪含量的变化及总糖含量的变化与品种有关,先玉335脂肪的含量并没有受到显著影响,总糖的含量增加了38.5%,纪元1号脂肪含量与对照相比降低32.2%,总糖含量降低了44.8%。在相同的处理条件下,纪元1号三大营养成分受霉菌侵染影响更大。

表1 霉菌侵染玉米种子三大营养成分含量的变化

营养成分	先玉335 处理组 /(g/100g)	先玉335 未处理组 /(g/100g)	纪元1号 处理组 /(g/100g)	纪元1号 未处理组 /(g/100g)
蛋白质	1.4 ± 0.13	1.8 ± 0.11	2.4 ± 0.21	3.3 ± 0.23
脂肪	10.4 ± 0.73	10.3 ± 0.54	2.1 ± 0.12	3.1 ± 0.41
糖	1.8 ± 0.15	1.3 ± 0.11	1.6 ± 0.24	2.9 ± 0.30

### 2.3 霉菌侵染后玉米氨基酸含量的变化

如表2所示,两种玉米种子侵染前后,大部分氨基酸含量表现为不同程度的损耗。处理后先玉335的氨基酸总含量为3.52 g/100 g,与未处理组相比较减少了13%,纪元1号的氨基酸总含量为4.56 g/100 g,与空白对照组相比氨基酸总含量减少了35.7%;其中先玉335必需氨基酸的含量为1.37 g/100 g,与对照组相比减少了16%,纪元1号必需氨基酸的含量为1.82 g/100 g,与对照组相比减少了22.6%。

表2 霉菌侵染玉米种子氨基酸含量的变化

氨基酸	先玉335 处理组 /(g/100g)	先玉335 未处理组 /(g/100g)	纪元1号 处理组 /(g/100g)	纪元1号 未处理组 /(g/100g)
天冬氨酸	0.22	0.44	0.4	0.38
苏氨酸*	0.12	0.16	0.18	0.21
丝氨酸	0.16	0.19	0.23	0.28
谷氨酸	0.73	0.71	0.9	1.33
甘氨酸	0.11	0.15	0.16	0.21
丙氨酸	0.25	0.17	0.27	0.4
缬氨酸*	0.13	0.15	0.18	0.24
蛋氨酸*	0.13	0.18	0.16	0.2
异亮氨酸*	0.1	0.12	0.15	0.18
亮氨酸*	0.45	0.4	0.57	0.82
酪氨酸	0.04	0.06	0.08	0.08
苯丙氨酸*	0.34	0.44	0.42	0.51
赖氨酸*	0.1	0.18	0.16	0.19
组氨酸	0.13	0.14	0.16	0.23
精氨酸	0.21	0.22	0.2	0.36
脯氨酸	0.3	0.27	0.34	0.57

注: \* 为人体必需氨基酸。

### 2.4 霉菌侵染后玉米维生素含量的变化

由表3可以看出,霉菌污染使玉米V<sub>A</sub>含量降低,先玉335降低了15.7%,纪元1号减少了7%;V<sub>E</sub>含量增加,先玉335增加了15.5倍,纪元1号增加了45.26倍;V<sub>B2</sub>含量增加,先玉335增加2.1倍,

纪元1号增加了3.4倍;V<sub>B1</sub>含量的变化与玉米品种有关,先玉335与对照相比较基本持平,纪元1号V<sub>B1</sub>含量升高了42.8%。

表3 霉菌侵染玉米种子维生素含量的变化

检测项目	先玉335 处理组 /(mg/100g)	先玉335 未处理组 /(mg/100g)	纪元1号 处理组 /(mg/100g)	纪元1号 未处理组 /(mg/100g)
V <sub>A</sub>	0.3 ± 0.08	1.97 ± 0.16	0.22 ± 0.04	0.24 ± 0.05
V <sub>E</sub>	5.1 ± 0.23	0.33 ± 0.04	5.42 ± 0.31	0.12 ± 0.03
V <sub>B1</sub>	0.62 ± 0.06	0.63 ± 0.04	0.93 ± 0.03	0.56 ± 0.06
V <sub>B2</sub>	2.14 ± 0.11	1.01 ± 0.09	2.4 ± 0.09	0.7 ± 0.05

### 2.5 霉菌侵染后玉米真菌毒素含量

由表4可知,霉菌侵染玉米种子7 d后,两个品种的玉米中均未检测到黄曲霉毒素。

表4 霉菌侵染后玉米黄曲霉毒素的含量

检测项目	先玉335 处理组	先玉335 未处理组	纪元1号 处理组	纪元1号 未处理组
黄曲霉毒素B1	未检出	未检出	未检出	未检出

### 2.6 讨论

玉米的原始水分相对较大,脂肪含量高,在相同条件下,与其它粮食相比较具有更强的生命力和呼吸强度<sup>[9-10]</sup>。在玉米贮藏期,一般把粮食储存在相对湿度低于70%的环境<sup>[11]</sup>,玉米的含水量控制在13%以下以避免霉菌的生长引起玉米品质的下降,甚至代谢产生毒素,造成更大的损失<sup>[12-13]</sup>。

如表1所示,玉米被霉菌污染后,蛋白质、脂肪和糖类的含量都有不同程度的变化,并且这种变化与品种有关。两个品种的玉米蛋白质含量都明显降低,相应氨基酸含量也有一定程度的降低(如表2所示),其中纪元1号降低更加明显。先玉335脂肪含量没有明显变化,糖类物质反而增加,而纪元1号脂肪含量和总糖含量都明显降低。虽然不同的玉米品种受真菌侵染的影响不相同,但都会造成主要营养成分不同程度的损失。

在所有主食中,玉米的维生素含量较高,是稻米、小麦的5~10倍<sup>[14]</sup>。如表3所示,当受到霉菌污染时,两种玉米的V<sub>E</sub>、V<sub>B2</sub>都有不同程度的升高,V<sub>B1</sub>的变化与品种有关,而V<sub>A</sub>则出现了降低。因此,

霉菌的污染在一定程度上使玉米中部分维生素的含量增加,尤其是 $V_E$ 含量增加,这种脂溶性维生素是非常重要的生物活性物质。进一步对污染玉米进行黄曲霉毒素检测,结果如表4所示,污染玉米中未检出黄曲霉毒素,这是因为黄曲霉毒素为次级代谢产物,短时间内还未代谢产生。

因此,在玉米的贮存过程中,要及时发现、及时防控霉菌污染。一旦玉米污染了霉菌,应针对不同的污染程度和实际情况对玉米的营养成分进行评价。如果经过检测没有产生真菌毒素或真菌毒素含量满足限量标准要求,可根据营养物质的损失程度,分级利用,避免更大的经济损失;对于已经产生真菌毒素,甚至毒素含量超过标准要求的玉米,则需要进行毒素的脱毒处理或销毁,避免毒素进一步对人体和动物造成伤害。

### 3 结论

本文以糖类、蛋白质和脂肪三大营养物质以及维生素、氨基酸含量为指标,通过对玉米种子进行产黄曲霉毒素霉菌侵染实验,对其营养成分的变化进行初步研究。结果表明,曲霉侵染对玉米种子的营养成分有一定影响,主要营养成分呈现减少的趋势。在实验过程中,处理组的玉米种子经过7 d培养后,利用液相色谱法进行检测,并未检出黄曲霉毒素B1。

### 参考文献:

[1] ABASS A B, NDUNGUM G, MAMIRO P, et al. Post-harvest food losses in a maize-based farming system of semi-arid savannah area

of Tanzania [J]. Journal of stored Products Research, 2014, 57: 49-57.

- [2] 米国华,陈范骏,刘向生,等.玉米籽粒铁含量的基因型差异[J].玉米科学,2004,12(2):13-15.
- [3] 裴玉贺,李玉冰,郭新梅,等.玉米主要营养品质性状的QTL定位[J].玉米科学,2014,22(6):21-26.
- [4] 靳志强,王顺喜.基于品质评价的玉米微波灭霉工艺参数选择[J].农业机械学报,2013,44(4):163-170.
- [5] 山长坡,刁恩杰,王宇晓,等.臭氧降解花生中黄曲霉毒素的设备及应用[J].农业工程学报,2012,28(21):243-247.
- [6] 李瑞芳,韩北忠,陈晶瑜,等.黄曲霉生长预测模型的建立及其在玉米储藏中的应用[J].中国粮油学报,2008,23(3):144-147.
- [7] AYERST G. The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fullgi [J]. J Stored Prod Res, 1969, 1: 127-141.
- [8] MAGAN N, LACEY J. The effect of temperature and pH on water relations of field and storage fungi [J]. Trans Br Mycol Soc, 1984, 82: 71-81.
- [9] 王若兰,马良,梁竣祺.高温储藏玉米品质变化研究[J].粮油食品科技,2015,23(1):98-101.
- [10] DILLAHUNTY A L, SIEBENMORGEN T J, BUESCHER R W, et al. Effect of Moisture Content and Temperature on Respiration Rate of Rice [J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(5): 541-543.
- [11] 唐芳,程树峰,伍松陵.稻谷储藏危害真菌生长规律的研究[J].中国粮油学报,2009,24(6):98-100.
- [12] 王彩霞,彭桂兰,曹阳,等.组挂式粮食干燥仓玉米籽粒自然干燥研究[J].粮油食品科技,2014,22(6):110-114.
- [13] 季青跃,于兆锋,李建智,等.高水分玉米储藏试验[J].粮油食品科技,2006(2):14-16.
- [14] 刘晓涛.玉米的营养成分及其保健作用[J].中国食物与营养,2009(3):60-61. 完