

臭氧降解黄曲霉毒素 B₁ 污染玉米的体内毒性评价

In vivo toxicity assessment of aflatoxin B₁-contaminated corn after ozone degradation

罗小虎^{1,2,3} 齐丽君^{1,2,3} 王 韧^{1,2,3} 王 莉^{1,2,3}

LUO Xiao-hu^{1,2,3} QI Li-jun^{1,2,3} WANG Ren^{1,2,3} WANG Li^{1,2,3}

李永富^{1,2,3} 杨 丹^{1,2,3} 余晓斌⁴ 陈正行^{1,2,3}

LI Yong-fu^{1,2,3} YANG Dan^{1,2,3} YU Xiao-bin⁴ CHEN Zheng-xing^{1,2,3}

(1. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江苏 无锡 214122; 3. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 4. 江南大学生物工程学院, 江苏 无锡 214122)

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. National Engineering Laboratory for Cereal Fermentation Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 3. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 4. School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:以黄曲霉毒素 B₁ 污染玉米 (Aflatoxin B₁-contaminated corn, ACC) 为原料, 评估经 90 mg/L 臭氧处理 40 min 的 ACC (83.0 μg/kg) 在小鼠体内的毒性。结果表明, 与基础饲料相比, ACC 饲喂小鼠的平均体重显著降低 (P<0.05), 肝脏与肾脏体重比显著增加 (P<0.05), 血清中谷丙转氨酶、谷草转氨酶和碱性磷酸酶活性显著升高 (P<0.05), 总蛋白、白蛋白和球蛋白含量显著降低 (P<0.05)。而 ACC 经臭氧处理后饲喂小鼠, 小鼠体重、饲料消耗量、肝脏与肾脏体重比均无显著差异, 血清中谷丙转氨酶活性、总蛋白、白蛋白和球蛋白含量也无显著差异 (P>0.05); 而谷草转氨酶和碱性磷酸酶活性显著升高 (P<0.05)。ACC 可导致小鼠多项生理、生化指标发生显著变化, 而 ACC 经臭氧处理后能显著改善其变化。

关键词:黄曲霉毒素 B₁; 玉米; 臭氧; 降解; 毒性

Abstract: Aflatoxin B₁-contaminated corn (ACC) (83.0 μg/kg) was treated for 40 min at 90 mg/L ozone. And mice were used to assess the vivo toxicity of ozone treated ACC. Results indicated that compared with basal feedstuff, the mean weight of mice fed with ACC significantly decreased (P<0.05). Whereas, the liver and kidney/

body weight ratio increased significantly (P<0.05). Alanine transaminase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), and alkaline phosphatase (ALP) in serum increased significantly (P<0.05). The total protein (TP), albumin (ALB), and globulin (GLB) content significantly decreased (P<0.05). When mice were fed with the ozone-treated ACC, no significant differences were observed in the mice mean weight, as well as the liver and kidney/body weight ratio. Additionally, no significant differences occurred in the major serum indexes ALT, TP, ALB, and GLB (P>0.05). Meanwhile, AST and ALP increased significantly (P<0.05). The study indicated that ACC can lead to significant changes in various physiological characteristics and biochemical indexes in liver and kidney tissues, while the ozone-treated ACC could significantly improve these changes.

Keywords: aflatoxin B₁; corn; ozone; degradation; toxicity

基金项目:公益性行业(农业)科研专项项目(编号:201203037);公益性行业(粮食)科研专项项目(编号:201313005, 201513006);国家自然科学基金(编号:31371874, 31501579);国家国际科技合作专项(编号:2015DFA30540);江苏省博士后基金(编号:1501078B)

作者简介:罗小虎,男,江南大学副教授,博士。

通讯作者:陈正行(1960-),男,江南大学教授,博士,博士生导师。

E-mail: zxchen_2008@126.com

收稿日期:2016-06-03

黄曲霉毒素(aflatoxins, AFs)是 20 世纪 60 年代初发现的一类主要由黄曲霉(*Aspergillus flavus*)和寄生曲霉(*Aspergillus parasiticus*)产生的化学结构类似的有毒次级代谢产物的总称。在已发现的 20 余种 AFs 中,以黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁ 和 G₂ (AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂)最为常见。而天然污染的食品中又以 AFB₁ 最常见,毒性也最强,故以 AFB₁ 为对象的研究最多。大量毒理试验^[1-2]证明,AFB₁ 毒性是氰化钾的 10 倍,砒霜的 68 倍,AFB₁ 除具有强烈的“三致能力”,还对动物肝脏有严重破坏作用,可致急性肝炎、肝癌甚至死亡。因此,国际癌症研究机构(IARC)在 1993 年就将 AFB₁ 定为 1 级致癌物。

AFB₁广泛存在于粮油原料及其制品中,而且在热带和亚热带地区,由于温度和湿度较高,不少农作物甚至在收获前就被黄曲霉菌感染,使得粮油原料及其制品中 AFB₁ 的检出率很高,特别是玉米、花生、小麦和稻米等农作物更易受 AFB₁ 污染^[3-4]。玉米是中国重要的食品和饲料原料,由于收获、加工和储藏等因素影响,黄曲霉毒素 B₁ 污染玉米(Aflatoxin B₁-contaminated corn, ACC)的现象非常突出。高秀芬等^[5]于2011年对中国部分地区玉米中 AFs 的污染状况展开了调查,从调查的279份玉米样品中,211份样品检出 AFs,59份样品超过中国国家限定标准,这其中又以 AFB₁ 阳性率和浓度最高。

AFB₁ 污染范围广且理化性质稳定,目前仍很难避免 AFB₁ 对食品或饲料污染。因此,良好的消减 AFB₁ 方法就变得至关重要,在目前已研究的众多物理、化学和生物消减 AFB₁ 方法中,多数存在消减后原料营养损失严重、感官品质变差,方法操作不便或费用过高不足^[6-8]。因此,寻求一种成本低廉、操作方便、安全有效和环境友好的消减方法仍将是今后努力的方向。

前人研究^[9-10]表明,臭氧在降解不同粮食中 AFB₁ 具有独特的优势,本课题组前期的研究结果也表明,臭氧对玉米中 AFB₁ 具有良好的降解效果^[11-12],且 AFB₁ 降解后的玉米细胞毒性显著降低^[13]。但考虑到 AFB₁ 毒性极大,对人和动物的危害严重,虽然 AFB₁ 降解产物的细胞毒性显著降低,但并不代表 AFB₁ 降解产物体内毒性也显著降低。因此,为了评估 AFB₁ 污染玉米经脱毒后体内毒性是否显著降低或消失,以便进一步提高臭氧技术实际应用的可行性,其降解产物的体内安全性仍有待进一步评估。本研究采用 ACC 和臭氧处理 ACC 分别饲喂小鼠,通过观察小鼠的生理指标、血清指标、组织变化,来分析臭氧处理 ACC 后是否仍具有较强的体内毒性,这也可为今后进一步研究臭氧降解 ACC 技术的安全性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 主要仪器与设备

臭氧发生器:QJ-8003K-A型,青岛国林实业股份有限公司;

臭氧气体浓度在线检测仪:IDEAL-2000型,山东淄博爱迪尔测控技术有限公司;

高效液相色谱仪带荧光检测器:1260型,美国安捷伦科技有限公司;

全自动生化仪测定:Cobas C 501型,瑞士罗氏公司。

1.2 臭氧处理 ACC

臭氧发生器的氧气源由外接纯氧气提供,臭氧浓度通过调节电压和氧气流量调整。3 kg ACC 放入圆柱形玻璃反应器(直径×高:35 cm×50 cm),臭氧气体经反应器底部进入,多余臭氧从顶部排出。为了让 ACC 和臭氧充分接触,在反应器中放入3个不锈钢筛,每个筛上放置1 kg 玉米,并不断将臭氧通入反应器中。反应器中臭氧浓度90 mg/L,环境温度为25℃,相对湿度为75%。臭氧处理40 min后,静置120 min

再将 ACC 裹入干净的聚乙烯袋中,密封,4℃保存,待用。

1.3 试验动物

35只昆明鼠:清洁级、雄性、4周龄,体重(22±2)g,动物许可证号,SCXK(沪)2012-0002,上海斯莱克实验动物有限公司。

1.4 饲料的准备

基础饲料、定制饲料均由上海斯莱克实验动物有限公司提供,试验中采用饲料均达到试验动物饲料相关卫生标准。定制饲料中玉米籽粒经粉碎后与基础饲料混合加工,玉米与基础饲料质量比1:1。臭氧处理的玉米饲料组中,臭氧处理玉米的条件均为:臭氧浓度90 mg/L,处理时间40 min。AFB₁ 污染玉米经臭氧处理后,AFB₁ 含量由83.0 μg/kg 降低到11.6 μg/kg。ACC 饲料和臭氧处理 ACC 饲料中 AFB₁ 含量分别为41.7,6.5 μg/kg。玉米中 AFB₁ 含量测定方法采用 GB/T 5009.23—2006 检测。

1.5 动物分组及饲喂

小鼠预饲2周后,根据体重随机均分为5组,每组7只。试验用小鼠同室分笼饲养,室内温度(22±2)℃,相对湿度50%~60%,室内环境清洁,安静,12/12 h 白天—黑夜循环光照。小鼠自由采食和饮水,每10 d 称量小鼠体重1次,每5 d 更换1次垫料,保持笼内清洁。

表1 昆明鼠分组

Table 1 Experimental grouping of Kunming mice

分组	简称
基础饲料组	Control
臭氧处理未污染玉米饲料组	ONC
未污染玉米饲料组	NC
臭氧处理 AFB ₁ 污染玉米饲料组	OCC
AFB ₁ 污染玉米饲料组	CC

1.6 血液及组织样品采集

小鼠在试验前禁食8~10 h,将采集的血液迅速放入离心管中,4℃,3 000 r/min 离心15 min,上清液-18℃保存,待测。称取小鼠肝脏、肾脏总重后,迅速放入预冷的生理盐水中漂洗,取部分肝脏和肾脏放于10%甲醛溶液中固定,用于组织病理学检查。

1.7 血清及肝功能相关生化指标

谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)和球蛋白(GLB)等生化指标均采用全自动生化仪测定。

1.8 小鼠肝脏和肾脏组织学观察

小鼠肝脏和肾脏组织切片方法参考Diao等^[14]的方法。

1.9 数据统计分析

本研究中,试验数据用均数±标准差(\bar{x} ±s)表示,采用SPSS 13.0进行统计学分析。多组间比较通过单因素方差分析(one-way ANOVA),两组间比较通过独立样本t值检验。当P<0.05表示在统计学上具有显著性差异,当P<0.01表

示在统计学上具有极显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 饲料对小鼠体重及饲料消耗的影响

表 2 为小鼠饲喂不同饲料后 10, 20, 30 和 40 d 的体重变化结果, 从表 2 中可看出, CC 组第 30 天后的小鼠体重显著低于 Control 组与 OCC 组 ($P < 0.05$); ONC 组、OCC 组与 Control 组的小鼠体重无显著差异 ($P > 0.05$), 而 NC 组小鼠体重第 30 天后就显著高于其他组小鼠体重 ($P < 0.05$)。OCC 组小鼠体重显著高于 CC 组, 最主要的原因是 ACC 经过臭氧处理后, AFB₁ 含量显著降低, 对小鼠的毒性显著降

低。Diao 等^[14]研究了臭氧处理 AFB₁ 污染的花生喂养小鼠, 与 AFB₁ 污染花生喂养小鼠相比, 小鼠体重显著增长, 且与未污染 AFB₁ 的花生饲料相比无显著差异, 这与本研究结果是一致的。NC 组小鼠体重和饲料消耗量均显著高于 ONC 组, 这可能是未污染玉米臭氧处理后, 对玉米的品质造成了不良影响, 从而影响了小鼠的体重增长。Diao 等^[14]研究表明, 未污染 AFB₁ 花生经臭氧处理后饲喂小鼠, 小鼠体重没有发生显著变化, 而本试验中未污染玉米经臭氧处理后饲喂小鼠, 相比 NC 组小鼠体重显著下降(表 2)。这可能是本研究中臭氧浓度较高, 且玉米中营养物质更容易被臭氧破坏, 从而造成玉米饲料的营养品质下降。

表 2 各饲料组小鼠体重变化[†]

饲养天数/d	Control	ONC	NC	OCC	CC
0	39.8±1.05 ^a	39.2±1.02 ^a	40.5±1.10 ^a	39.5±1.08 ^a	39.2±1.09 ^a
10	43.8±1.07 ^a	41.7±1.05 ^b	45.0±1.12 ^a	40.1±1.03 ^b	40.5±0.98 ^b
20	44.5±1.01 ^a	43.9±1.12 ^{ab}	47.8±1.19 ^c	41.7±1.06 ^b	43.3±1.20 ^{ab}
30	45.1±1.37 ^a	44.9±1.16 ^a	50.1±1.04 ^b	45.5±1.52 ^a	41.2±1.08 ^c
40	49.4±1.16 ^a	47.4±1.61 ^{ab}	52.0±1.88 ^d	46.6±1.34 ^{ab}	41.3±1.25 ^c

[†] 同行上标字母不同表示组间差异显著, $P < 0.05$ 。

2.2 饲料对小鼠肝脏与肾脏的影响

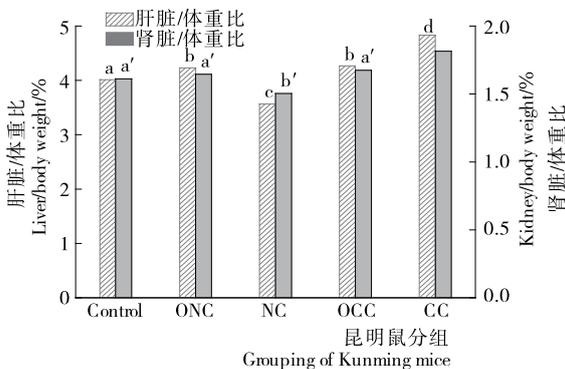
图 1 分别为不同饲料饲喂小鼠 40 d 后的肝脏、肾脏与体重的比值。结果表明, CC 组的小鼠肝脏、肾脏与体重的比值显著高于其他饲料组 ($P < 0.05$)。这是因为 AFB₁ 毒性极强, 而采用 ACC 饲喂小鼠后, AFB₁ 对小鼠的敏感器官肝脏和肾脏造成毒害, 从而导致小鼠肝脏和肾脏肿大。Skalicka 等^[15]的研究也表明, AFB₁ 主要损伤动物的肝脏和肾脏, 可造成肝脏和肾脏的肿大、坏死等。另外, 由图 1 可知, OCC 组小鼠肾脏与体重比和 Control 组没有显著差异 ($P > 0.05$), 表明其肾毒性显著降低, 该结果与 Naguib 等^[16]的研究结果一致。但 OCC 组小鼠肝脏与体重比显著高于 Control 组 ($P < 0.05$), 本研究在饲喂小鼠前, 已经测定过 OCC 组中 AFB₁ 含量, 确定该浓度不会对小鼠造成危害, 因此造成这种结果的主要原因不是 AFB₁ 的毒性作用。可能是 ACC 品质较未污染玉米

差, 经臭氧处理后, 虽然 AFB₁ 含量显著降低, 但是其营养品质进一步劣变, 从而对小鼠造成了不良影响。而且从图 1 结果看, NC 组小鼠的肝脏、肾脏与体重比显著低于 Control 组 ($P < 0.05$), ONC 组的肝脏、肾脏与体重比显著高于 NC 组的 ($P < 0.05$), 因此, 未污染玉米经过臭氧处理后, 对小鼠肝脏和肾脏也有不利影响。

2.3 小鼠血清中 ALT、AST 和 ALP 活力变化

由图 2 可知, CC 组中 ALT 活力显著高于其他组 ($P < 0.05$), 而其它 4 个饲料组中 ALT 活力无显著差别 ($P > 0.05$)。图 2 的 CC 组血清中 AST 活力最高, 显著高于其他饲料组 ($P < 0.05$), ONC 组与 OCC 组无显著差异 ($P > 0.05$), 但均显著高于 NC 组和 Control 组 ($P < 0.05$), NC 组和 Control 组无显著差异 ($P > 0.05$)。小鼠血清中 ALP 活力结果表明, CC 组血清中 ALP 活力显著高于其他 4 组, OCC 组的 ALP 活力虽显著低于 CC 组, 但仍显著高于其他 3 组 ($P < 0.05$), 其他组间无显著差别 ($P > 0.05$)。

AFB₁ 很容易造成动物的肝脏和肾脏损伤, 改变动物血清中各种酶类的活性, 因此, 肝脏和血清中各种酶的活性变化是评估动物伤害程度的可靠依据^[17]。而在这些酶中, ALT、AST 和 ALP 因其主要存在于肝脏和肾脏中, 又是动物机体代谢过程中必不可少的“催化剂”, 因此, 是反映肝脏和肾脏等重要脏器功能损伤最直接和最重要的指标^[18]。通常情况下, 动物摄食 AFB₁ 污染的饲料后, 肝细胞或某些组织会损伤或坏死, 使 ALT、AST 和 ALP 等胞内酶释放到血液里, 造成血液中这些酶的活性升高^[19]。Harvey 等^[20]发现仔猪 AFB₁ 中毒时, 肝脏受到严重损伤, ALP 经淋巴道和肝窦进入血液, 且由于肝内胆道胆汁排泄障碍, 此时, 大量胞内酶释放到血液中, 而引起血清中 ALT、AST 和 ALP 的活性



不同字母表示组间差异显著

图 1 不同饲料组中昆明鼠肝脏、肾脏与体重比

Figure 1 Liver and kidney/body weight ratios of different groups of mice

显著升高。Netke 等^[21]采用抗坏血酸饲喂豚鼠,观察抗坏血酸对饲喂 AFB₁ 污染饲料对豚鼠肝脏和血清中 AST、ALT 和 ALP 的影响,研究结果表明,饲喂抗坏血酸的豚鼠的各项指标均得到显著改善,AST、ALT 和 ALP 能显著反应 AFB₁ 对豚鼠肝脏损伤情况。Diao 等^[14]发现采用臭氧处理 AFB₁ 污染花生,能显著缓解 AFB₁ 引起的对 Wistar 大鼠血清中 ALT、AST 和 ALP 的不利影响,同时,与基础饲料组比,大鼠血清中的各项生化指标无显著差异。本试验结果表明,ACC 能导致小鼠血清中 ALT、AST 和 ALP 活性显著升高 ($P < 0.05$),而 ACC 经臭氧处理后,各项酶活指标均显著改善,且部分指标与 Control 组无显著差异 ($P > 0.05$),可说明臭氧能显著降低 ACC 对小鼠的毒害。

2.4 小鼠血清中 TP、ALB 和 GLB 含量变化

由图 3 可知,小鼠摄入 ACC 饲料 40 d 后,血清总蛋白 (TP)、白蛋白 (ALB) 和球蛋白 (GLB) 含量均显著低于其他饲料组 ($P < 0.05$),而其他饲料组间无显著差异 ($P > 0.05$)。Obuseh 等^[22]认为动物体内 TP、ALB 和 GLB 含量的改变是反映 AFB₁ 对肝脏合成各种蛋白能力的一项重要指标,当动物肝脏功能受到严重损害时,其蛋白合成能力将受到显著影响,蛋白含量将显著降低。因此,本研究分析可能是小鼠摄入 ACC 后,引起小鼠的肝功能障碍,造成肝脏中蛋白合成受到抑制。另外,也有研究^[23-24]表明,ACC 组中白蛋白和球蛋白含量显著下降,可能是小鼠其他方面的肝脏功能受到损

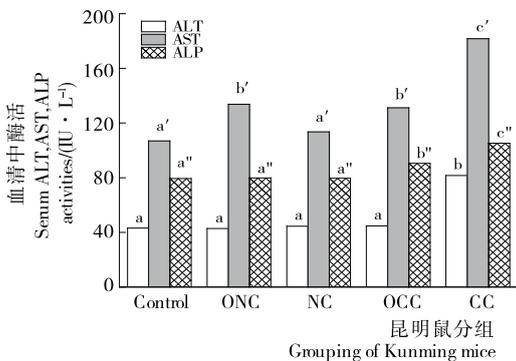
害。本试验结果表明,CC 组的小鼠血清中 TP、ALB 和 GLB 的含量降低,说明 AFB₁ 污染的玉米对小鼠的肝脏有显著损害;而 OCC 组的小鼠各项生化指标均得到显著改善,表明 AFB₁ 污染玉米经臭氧处理后,肝脏毒性显著降低,这也与 Diao 等^[14]和 Naguib 等^[16]的研究结果一致。

3 结论

研究表明,ACC 饲喂小鼠表现出典型 AFB₁ 中毒症状,包括小鼠体重增长减慢、血清酶学指标异常等;而 ACC 经臭氧处理后,能显著降低 AFB₁ 导致的小鼠生理、主要血清指标 ALT、TP、ALB 和 GLB 水平,极大降低了 AFB₁ 对小鼠的毒性,减轻了 AFB₁ 对小鼠生长性能、血清及肝肾器官的不良影响。此外,ONC 组小鼠肾脏体重比、AST 活力显著高于 Control 组 ($P < 0.05$),其他生化、血清指标无显著差异;而 NC 组小鼠各项生理、生化指标结果均优于 ONC 组,表明正常玉米经臭氧处理后饲喂小鼠,对小鼠也有一定不利影响。

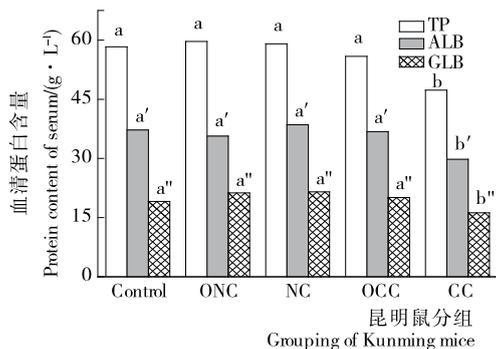
参考文献

- [1] YEH Fu-sun, YU Mimi C, MO Chi-chun, et al. Hepatitis-B virus, aflatoxins, and hepatocellular-carcinoma in southern Guangxi, China[J]. Cancer Research, 1989, 49(9): 2 506-2 509.
- [2] CHEN Jian-guo, EGNER Patricia A, NG Derek, et al. Reduced aflatoxin exposure presages decline in liver cancer mortality in an endemic region of china[J]. Cancer Prevention Research, 2013, 6(10): 1 038-1 045.
- [3] LEWIS L, ONSONGO M, NJAPAU H, et al. Aflatoxin contamination of commercial maize products during an outbreak of acute aflatoxicosis in eastern and central Kenya[J]. Environmental Health Perspectives, 2005, 113(12): 1 763-1 767.
- [4] 康绍英,周兴旺,张继红,等.液相色谱-串联质谱法同时检测食品中的 4 种黄曲霉毒素[J].食品与机械,2013,29(2): 77-81, 120.
- [5] GAO Xiu-fen, YIN Shi-an, ZHANG Hong-yuan, et al. Aflatoxin contamination of corn samples collected from six regions of China[J]. Journal of hygiene research, 2011, 40(1): 46-49.
- [6] FARZANEH M, Shi Zhi-qi, 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.
- [7] 曹铭,樊明涛.黄曲霉毒素去除技术研究进展[J].食品与机械,2015,31(1): 260-264.
- [8] 罗小虎,齐丽君,房文苗.等.比重筛分黄曲霉毒素 B₁ 污染玉米[J].食品与机械,2016,32(6): 13-18.
- [9] DE ALENCAR E R, FARONI L R D, SOARES N D F, et al. Efficacy of ozone as a fungicidal and detoxifying agent of aflatoxins in peanuts [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(4): 899-905.
- [10] 罗建伟,李荣涛,陈兰,等.臭氧去除粮食中黄曲霉毒素 B₁ 的方法研究[J].粮食储藏,2003,32(4): 29-32.
- [11] LUO Xiao-hu, WANG Ren, WANG Li, et al. Detoxification of aflatoxin in corn flour by ozone[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(11): 2 253-2 258.
- [12] 罗小虎,王初,王莉,等.臭氧降解玉米中黄曲霉毒素 B₁ 效果及降解动力学研究[J].食品科学,2014,36(15): 45-49.



不同字母表示组间差异显著

图 2 不同饲料组昆明鼠血清中 ALT、AST、ALP 活性
Figure 2 Serum ALT, AST, ALP activities of different groups of mice



不同字母表示组间差异显著

图 3 不同饲料组昆明鼠血清中 TP、ALB、GLB 活性
Figure 3 Serum TP, ALB, GLB contents of different groups of mice

- [13] LUO Xiao-hu, WANg Ren, WANG Li, et al. Effect of ozone treatment on aflatoxin B₁ and safety evaluation of ozonized corn [J]. Food Control, 2014, 37(3): 171-176.
- [14] DIAO En-jie, HOU Han-xue, CHEN Bin, et al. Ozonolysis efficiency and safety evaluation of aflatoxin B₁ in peanuts [J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 55: 519-525.
- [15] SKALICKA M, MAKOOVA Z, KORENEKOVA B. The influence of aflatoxin B₁ on activity of alkaline phosphatase and body weight of broiler chicks [J]. Trace Elements and Electrolytes, 2000, 17(3): 142-146.
- [16] NAGUIB K M, HASSAN N S, EL-NEKEETY A A, et al. Safety use of ozone gas in the degradation of aflatoxin in tobacco and prevention its toxicity in rats [J]. Toxicology Letters, 2011, 205S: S144.
- [17] OZER J, RATNER M, SHAW M, et al. The current state of serum biomarkers of hepatotoxicity [J]. Toxicology, 2008, 245(3): 194-205.
- [18] ADEDARA I A, OWUMI S E, UWAIFO A O, et al. Aflatoxin B₁ and ethanol co-exposure induces hepatic oxidative damage in mice [J]. Toxicology and Industrial Health, 2010, 26(10): 717-724.
- [19] DEVENDRAN G, BALASUBRAMANIAN U. Biochemical and histopathological analysis of aflatoxin induced toxicity in liver and kidney of rat [J]. Asian Journal of Plant Science and Research, 2011, 1(4): 61-69.
- [20] HARVEY R, KUBENA L, HUFF W, et al. Effects of treatment of growing swine with aflatoxin and T-2 toxin [J]. American Journal of Veterinary Research, 1990, 51(10): 1 688-1 693.
- [21] NETKE S P, ROOMI M W, TSAO C, et al. Ascorbic acid protects guinea pigs from acute aflatoxin toxicity [J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 1997, 143(2): 429-435.
- [22] OBUSEH FA, JOLLY PE, YI Jiang, et al. Aflatoxin B₁ albumin adducts in plasma and aflatoxin M₁ in urine are associated with plasma concentrations of vitamins A and E [J]. International Journal for Vitamin and Nutrition Research, 2010, 80(6): 355-368.
- [23] TURNER P C, LOFFREDO C, KAFRAWY S E, et al. Pilot survey of aflatoxin-albumin adducts in sera from Egypt [J]. Food Additives and Contaminants Part A-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment, 2008, 25(5): 583-587.
- [24] SAAD MMM, ABDEL-FATTAH SM. A food additive formula to minimize the negative effects due to ingesting aflatoxins(s) contaminated food [J]. Saudi Society for Food & Nutrition, 2008, 3(1): 31-40.

(上接第 37 页)

为微波烟支密度分布检测仪的进一步优化提供了一定的理论参考, 相关结论如下: ① 微波烟支密度分布检测仪能够很好地反映烟支整体平均密度情况, 但对于烟支内部密度分布尤其是起始位置和接装纸位置检测结果误差较大; ② 建立了密度测量值与填充长度关系模型, 该模型适用于预测介质未完全填充时密度测量值的变化情况, 减小微波腔厚度在理论上能够提高设备的检测精度; ③ 接装纸尤其是含金属接装纸会造成检测结果偏大, 金属环越宽影响越大, 使用空白接装纸能够有效降低测量误差。

参考文献

- [1] 赵同林, 李兵役, 田兴友, 等. 烟支密度与烟支重量、吸阻、硬度及标准偏差的关系 [J]. 烟草科技, 2005(4): 13-15.
- [2] 李学金, 高尊华, 杨帆, 等. 烟支内烟丝分布对卷烟质量的影响 [J]. 烟草科技, 2004(8): 11-12, 15.
- [3] 容秀英. 影响烟支端部落丝量的因素研究 [J]. 机电工程技术, 2014, 43(6): 260-263.
- [4] 王耀. 卷烟燃吸中掉火头现象原因分析及解决方案 [J]. 金田, 2013(10): 438-439.
- [5] 卢智远, 孙文权, 吴志刚, 等. 烟支湿度与密度检测的微波谐振腔传感器研究 [J]. 传感技术学报, 2007, 20(5): 1 030-1 033.
- [6] 邱晔, 彭金辉, 黄铭, 等. 微波谐振腔微扰技术快速检测烟丝含水率 [J]. 烟草科技, 2008(6): 38-40.
- [7] 高洁, 田军民, 王杨, 等. 基于 DSP 的微波烟支密度在线检测系统 [J]. 烟草科技, 2010(11): 22-24, 35.
- [8] 汪功明. 基于微波检测技术的卷烟机烟支重量控制系统设计 [J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 113-116.
- [9] 唐军, 周冰, 唐丽, 等. 一种定量评价烟支密度分布均匀性的方法: 中国, CN104165822A [P]. 2014-11-26.
- [10] 邓来红, 廖旭东, 卢彦华, 等. 微波水分仪在烟支密度测量中的应用 [J]. 中国新技术新产品, 2010(1): 16-17.
- [11] 申晓锋, 李华杰, 王锐亮, 等. 烟丝结构与卷烟单支重量和烟支密度及其稳定性的灰色关联分析 [J]. 中国烟草学报, 2009, 15(6): 23-26.
- [12] 周博, 王欣林, 朱龙, 等. 烟支重量和密度对加香加料表达效果的影响研究 [J]. 西南农业学报, 2016, 29(4): 970-975.
- [13] 国家烟草专卖局. GB/T 16447—2004 烟草及烟草制品 调节和测试的大气环境 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范 [M]. 北京: 中央文献出版社, 2003: 69-78.

(上接第 48 页)

- [8] 刘红河, 陈卫, 康莉, 等. 气相色谱法同时测定食品中 3 种抗氧化剂 [J]. 现代预防医学, 2006, 33(12): 2 307
- [9] 陈志涛, 张睿, 郑香平, 等. 离子色谱法测定葡萄酒中的山梨酸和苯甲酸的含量 [J]. 理化检验: 化学分册, 2015, 51(12): 1 658-1 660.
- [10] 向俊, 徐建双, 毛丽秋. 液相微萃取/气相色谱—质谱法分析食品中的防腐剂和抗氧化剂 [J]. 分析科学学报, 2010, 26(2): 187-190.
- [11] 宋瑞霞, 谢翔燕. 毛细管气相色谱法测定食品中的甜蜜素 [J]. 食品研究与开发, 2008, 29(1): 128-130.
- [12] 杨柳桦, 王林, 孙成均. 高效液相色谱法测定保健食品和饮料中的阿斯巴甜 [J]. 分析实验室, 2007, 26(7): 79-80.
- [13] 嵇超, 冯峰, 陈正行, 等. 高效液相色谱—串联质谱法测定葡萄酒中的 5 种人工合成甜味剂 [J]. 色谱, 2010, 28(8): 749-753.
- [14] 王美玲, 戴洁芸, 成婧, 等. 分散固相萃取/高效液相色谱—离子阱飞行时间高分辨质谱法对纺织品中全氟化合物的快速筛查和确证 [J]. 分析测试学报, 2016, 35(3): 257-263.