

霉菌毒素对畜禽的危害和预防措施

鞠 妍^{1,2,3}, 刘华淼^{1,2,3*}, 徐永平^{2,3}, 李淑英²

(1. 鞍山师范学院化学与生命科学学院/辽宁省天然产物活性分子开发及利用重点实验室, 辽宁 鞍山 114000; 2. 大连赛姆生物工程有限公司, 辽宁 大连 116000; 3. 大连理工大学, 辽宁 大连 116000)

摘 要:霉菌毒素是霉菌产生的次生代谢产物,是食品和多种农产品的污染物之一。这类物质引发急性或慢性中毒,具有致癌性、致诱变性以及生殖发育毒性和神经毒性等多种危害。不同霉菌毒素对畜禽的危害不同。在动物饲料(如谷物)收获前或收获后进行预防性处理,或在饲料中添加化学和生物吸附剂,可以去除或减少霉菌毒素的污染,降低或消除对畜禽的危害。本文综述了饲料中霉菌毒素的种类与特性以及对畜禽的危害,并介绍了在养殖过程中常用的霉菌毒素的解毒方法。

关键词:霉菌毒素; 畜禽; 危害; 防控

中图分类号: S816.7

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2026)03-0125-04

Hazards of Mycotoxins to Livestock and Poultry and Their Preventive Measures

JU Yan^{1,2,3}, LIU Huamiao^{1,2,3*}, XU Yongping^{2,3}, LI Shuying²

(1. School of Chemistry and Life Science, Anshan Normal University, Liaoning Key Laboratory of Development and Utilization for Natural Products Active Molecules, Anshan 114000; 2. Dalian Saimu Biotechnology Co., Ltd., Dalian, 116000; 3. Dalian University of Technology, Dalian 116000, China)

Abstract: Mycotoxins are secondary metabolites produced by various molds and are among the major contaminants of food and a wide range of agricultural products. These compounds exhibit both acute and chronic toxicities and possess carcinogenic, mutagenic, reproductive, developmental and neurotoxic effects. Different mycotoxins exert differing degrees of harm on livestock and poultry. Preventive treatment of animal feed(e.g. cereals) before or after harvest, or the incorporation of chemical and biological adsorbents into feed, can remove or reduce mycotoxin contamination and thereby mitigate or eliminate their hazards to livestock and poultry. In this paper, the types and characteristics of mycotoxins in feed, their hazards to livestock and poultry, and commonly used mycotoxin detoxification methods applied during the breeding process are summarized.

Key words: Mycotoxins; Livestock and poultry; Hazard; Prevention and control

霉菌毒素是由曲霉、青霉或镰刀菌等产生的次生真菌代谢物^[1-2],具有致突变、致癌、致畸和遗传毒性^[3]。联合国粮农组织(FAO)调查显示,在世界范围内,超过25%的粮食作物受到霉菌毒素污染^[1]。根据分类的不同,迄今为止,已经有超过500种霉菌毒素被发现或报道。霉菌毒素污染可能发生在养殖场现场,也可能发生在饲料存储期间,这在很大程度上取决于环境因素^[4]。

收稿日期: 2025-06-28

基金项目: 博士科研启动基金项目(23b05); 国家高端外国专家引进计划项目(G2021008005L)

作者简介: 鞠 妍(1988-),女,副教授,博士,主要从事分子生物学研究。

通信作者: 刘华淼, E-mail: liuhuamiao@mail.asnc.edu.cn

1 饲料中常见的霉菌毒素

有数百种霉菌毒素,他们的化学性质各不相同。饲料很可能受到两种以上霉菌毒素的污染^[5]。最受关注的霉菌毒素包括:曲霉菌产生的黄曲霉毒素(Aflatoxin, AFB₁);镰刀菌霉菌产生的脱氧雪腐镰刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DON)、玉米赤霉烯酮(Zearalenone, ZEN)、T-2毒素、伏马菌素(Fumonisin, FB₁);青霉菌产生的赭曲霉毒素(Ochratoxin A, OTA)。

1.1 黄曲霉毒素(Aflatoxin, AFB₁)

黄曲霉毒素 B₁(AFB₁)是由黄曲霉(*Aspergillus flavus*)或寄生曲霉(*Aspergillus parasiticus*)产生的次级代谢产物,对畜禽具有高度的致突变和致癌作

用^[6]。目前已经鉴定出20种AFs,在饲料中经常发现天然形式的AFs,主要有B₁、B₂、G₁和G₂这4种形式,其中AFB₁在禽类(鸡、鸭等)饲料中最为常见,也是毒性最强的化合物之一^[7-8]。AFB₁和AFM₁(AFM₁是AFB₁的单羟基化衍生物)均具有肝毒性和致癌性,被世界卫生组织国际癌症研究机构(IARC)列为1类人类致癌物^[9]。动物食用受AFs污染的饲料会出现生长迟缓、饲料效率降低以及肝脏和肾脏损伤等健康问题^[10]。

1.2 玉米赤霉烯酮(Zearalenone, ZEN)

ZEN是由镰刀菌属真菌产生的一种真菌毒素,是粮食和谷物产品中最普遍、最有效的污染物之一,严重威胁食品安全^[11]。已有研究表明,ZEN在150℃时具有热稳定性^[12]。欧盟立法规定,未加工的谷物中ZEN最大允许限量为100~200 μg/kg,已加工的谷物为75 μg/kg,加工谷物食品为20 μg/kg^[13],我国在小麦、玉米及其制粉中的监管限值不超过60 μg/kg^[14]。

ZEN通常具有较低的急性毒性,然而长期暴露会导致重大健康风险。ZEN及其代谢物能够以高亲和力与雌激素受体结合。ZEN还可以通过与羟基类固醇脱氢酶(HSD)结合来合成内源性激素^[15-16]。此外,ZEN对肝脏、血液、免疫系统等都具有毒性。

1.3 脱氧雪腐镰刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DON)

在小麦、玉米、大麦等谷类中,最常检测到的霉菌毒素就是DON,可引起恶心和呕吐,因此也称为呕吐毒素。当DON浓度较高时,是一种免疫抑制剂;当浓度比较低时,可刺激免疫系统^[17-18]。

1.4 赭曲霉毒素A(Ochratoxin A, OTA)

OTA通常会污染谷物和谷物副产品,如小麦、黑麦和大麦,并在猪肉和牛奶等动物产品中经常被检测到。OTA具有烈性的肾脏毒和肝脏毒,会损害动物(包括人类)的肾脏和肝脏^[19],还具有致畸、致癌等危害。毒副作用表现为精神沉郁、食欲减退、可视黏膜出血、体温升高、妊娠母畜子宫内出血、腹泻、脱水等症状^[20]。

1.5 其他霉菌毒素

除上述毒素外,还有一些常见的霉菌毒素,例如T-2毒素、麦角生物碱(Ergot alkaloids, EAs)、FBs等对畜禽的生产性能、繁殖性能、免疫系统等也具有较大危害。此外,有数百种不同的霉菌毒素,其化学成分和对动物的影响各不相同,受污染的饲料很可能含有不止一种霉菌毒素,从而加大了对畜禽健康的危害,同时也增加了去除霉菌毒素的难度。

2 霉菌毒素对畜禽健康的危害

2.1 霉菌毒素对猪的危害

根据食用量的不同,AFs会导致猪出现各种慢性或急性综合征。最严重的可导致死亡,但最显著的影响是体重减轻、繁殖能力下降、免疫功能受到抑制、病死率上升^[21]。DON、OTA、T-2毒素对猪的不良反应主要表现为采食量减少,体重增加减缓,还会影响免疫反应。猪在短时间内摄入高剂量FBs会引起肺水肿^[22]。

2.2 霉菌毒素对牛羊的危害

尽管所有动物都对AFs有反应,但由于反刍动物的瘤胃具有解毒作用,所以对AFs的敏感性较低^[23],长期接触AFs的牛羊的一些生产参数下降,特别是乳汁中存在残留物,并且较难安全去除。DON对奶牛的不良影响主要包括食欲不振、采食量减少、促炎细胞因子上调和免疫抑制等。

如果肉牛食用了被多种霉菌毒素污染的饲料,会导致生产性能下降。由于霉菌毒素具有抗菌活性,可以改变瘤胃微生物种群,即使在低剂量情况下也能影响反刍动物的免疫系统。泌乳期奶牛,饲喂多种镰刀菌毒素污染的日粮,会降低消化率和产奶量^[24]。

2.3 霉菌毒素对家禽的危害

家禽对不同霉菌毒素的敏感程度不同。T-2毒素对于家禽的毒性作用大于DON。尽管家禽对DON的敏感性低于其他动物,但是饲喂含DON污染的玉米会导致家禽的生长受到抑制,引起繁殖障碍。家禽对OTA比较敏感,尤其是幼鸭^[25-26]。AFs会损害肝脏和肾脏的功能,导致家禽的体重增加减缓、采食量下降、饲料转化率和繁殖功能下降^[27]。

3 动物饲料中霉菌毒素残留的现状

许多国家或地区的饲料和饲料原料中均检出不同浓度霉菌毒素,许多国家已经制定并严格管控霉菌毒素的残留限量。Seo等^[28]测定了736份(180种饲料原料和556种配合饲料)样品,共发现11种霉菌毒素,主要是FBs,其次是ZEN和DON。Rodrigues等^[29]检测了6000份饲料样品,有81%被证明至少含有一种霉菌毒素。AFB₁的产生主要发生在南欧、非洲、南亚和东南亚等气候温暖地区的谷物样品中,而DON污染则在全球范围内都能观察到。在北美、北欧、中欧以及北亚的小麦、玉米和大麦中较常发现的是DON。在南美、南欧、非洲和东南亚的玉米及其副产品中,FB₁最为

丰富^[29]。Monbaliu等^[30]分析了来自欧盟不同国家的82个猪饲料、小麦和玉米样品,共检测了23种霉菌毒素,发现75%的样品含有多种霉菌毒素。

王京等^[31]对我国30个省市、地区2010—2021年的27 929份饲料和饲料原料中的AFs进行了调查,分析发现,0.744%的样品中AFB₁含量超标,61.330%的样品未检测出AFB₁。华东地区是黄曲霉毒素B₁(AFB₁)的主要污染区域,温带大陆性气候与亚热带季风气候为其高发气候类型;水产动物配合饲料、反刍动物精料补充料为AFB₁易受污染的饲料类型。苏青云等^[32]对我国16个省市的玉米、玉米副产品、小麦等饲料原料和配合饲料共计1 160份样品进行了检测,阳性率99.74%,仅含1种霉菌毒素的样品有16份,含有3种霉菌毒素的样品高达1 109份,说明饲料和饲料原料受多种霉菌毒素污染现象较为普遍。

4 预防策略

4.1 饲料的预防策略

抑制霉菌的生长及霉菌毒素的生成是防控污染最核心的预防手段。首先,合理把控收获时机,并规范储存与加工方式,是预防霉菌滋生、减少霉菌毒素产生最直接、简便的措施。研究表明,晚熟杂交玉米品种在收获阶段更易遭受霉菌污染。此外,农田连作会加剧霉菌污染风险,采用多种作物轮作模式则可有效降低霉菌感染发生率。粮食及饲料储存过程中,应保持环境通风,使用洁净、干燥的仓储设备;同时严格控制粮食水分含量,通常以15%的含水量为宜,并采用低温储藏条件^[3],从源头抑制霉菌毒素生成。

4.2 化学解毒方法

已发现有多种化学物质对控制霉菌毒素有效,例如亚硫酸氢钠、氯气、过氧化氢、抗坏血酸、盐酸、甲醛等。化学解毒法不符合FAO的要求,因为一些化合物会残留有毒代谢物,有些还会降低食物或饲料的营养价值。只有在既不降低饲料的营养价值又能满足适口性的条件下,使用化学试剂才是可行的。另外,物理和化学方法结合使用,比单独使用能更有效地去除霉菌毒素。

4.3 物理解毒方法

物理脱毒法主要包括去除霉变和受损的饲料或粮食,利用水冲、脱壳、高温、辐射、吸附剂等方法减少或去除饲料(或粮食)中的霉菌毒素。由于大多数霉菌毒素耐高温,一般高温不用于谷物和其他农产品的去污。用水或碳酸钠水溶液冲洗,可以使小麦和玉米中DON的浓度降低。研究发

现,辐射可成功降低小麦中DON的浓度,但是辐射会产生代谢产物或毒性更大的副产品,并且辐射只有应用在一薄层时才有效。

在饲料中添加吸附剂可以避免畜禽霉菌中毒。吸附剂可以与肠道中的霉菌毒素结合,从而抑制或者减少霉菌毒素的吸收、促进其排出或改变作用方式^[33]。常用的吸附剂包括铝硅酸盐、沸石、膨润土、硅岩、硅藻土、活性炭、消胆胺和聚乙烯吡咯烷酮^[34]。

4.4 生物降解

在受污染的饲料中使用微生物或酶系统是一种简单、快速、没有残留、相对便宜的方法。有研究表明,从动物环境中分离的酵母菌株能够在盐水培养基中结合AFB₁,抑制病原菌^[35]。AFB₁和ZEN可被多种链霉菌菌株有效破坏,而不引起遗传毒性^[36]。已有研究发现,锰过氧化物酶(MnP)、漆酶和氧化酶等多种酶类物质都可以分解霉菌毒素,具有操作简单、结果均匀、特异性高等特点。此外,一些藻类作为潜在的抗氧化剂,也可以对抗霉菌毒素。

5 讨论

在生产实际中,接触霉菌毒素是不可避免的,霉菌毒素污染严重的食品或饲料不宜食用。因此,控制接触霉菌毒素对于预防霉菌毒素污染意义重大。主要方法包括在谷物收获前和收获后(主要是储存期间)进行有效预防处理,在饲料中添加化学和生物吸附剂以除去霉菌毒素。

参考文献:

- [1] FUJIMOTO H. In Encyclopedia of dairy sciences(2nd ed)[M]. San Diego CA USA: Academic Press, 2011: 792-800.
- [2] TAN H, ZHOU H, GUO T, et al. Recent advances on formation, transformation, occurrence, and analytical strategy of modified mycotoxins in cereals and their products[J]. Food Chemistry, 2022, 405: 134752.
- [3] AWAD W A, GHAREEB K, BOHM J, et al. Decontamination and detoxification strategies for the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol in animal feed and the effectiveness of microbial biodegradation[J]. Food Additives and Contaminants, 2010, 27 (4): 510-520.
- [4] BRYDEN W L. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implications for animal productivity and feed security[J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 173: 134-158.
- [5] WHITLOW L W, HAGLER W M. Mycotoxins in feeds[J]. Feed-stuffs, 2002, 74: 1-10.
- [6] DIEKAN M A, GREEN M L. Mycotoxins and reproduction in domestic livestock[J]. Journal of Animal Science, 1992, 70: 1615-1627.
- [7] XIONG J L, WANG Y M, NENNICH T D, et al. Transfer of dietary aflatoxin B1 to milk aflatoxin M1 and effect of inclusion of adsorbent in the diet of dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98(4): 2545-2554.

- [8] HUSSEIN H S, BRASEL M. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals[J]. *Toxicology*, 2001, 167: 101–134.
- [9] IARC. Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene[M]. IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, 2002, 82: 171–175.
- [10] BINTVIHOK A. New insights to controlling mycotoxin danger in ducks[J]. *Feed Tech*, 2002(6): 28–29.
- [11] RICHARD J L, PAYNE G A, DESJARDIN A E, et al. Mycotoxins: Risks in plant, animal and human systems[J]. CAST Task Force Report, 2003, 139: 101–103.
- [12] YUMBE-GUEVARA B E, IMOTO T, YOSHIZAWA T. Effects of heating procedures on deoxynivalenol, nivalenol and zearalenone levels in naturally contaminated barley and wheat[J]. *Food Additives and Contaminants*, 2003, 20(12): 1132–1140.
- [13] EFSA. Scientific opinion on the risks for public health related to the presence of zearalenone in food(by EFSA panel on contaminants in the food chain)[J]. *EFSA Journal*, 2011, 9(2): 2197.
- [14] GAIN. China releases standard for maximum levels of mycotoxins in foods(global agriculture information network)[R]. China Food and Drug Administration(CFDA), GAIN Report No. CH18026, 2018.
- [15] FINK-GREMMELS J, MALEKINEJAD H. Clinical effects and biochemical mechanisms associated with exposure to the mycoestrogen zearalenone[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 137 (3–4): 326–341.
- [16] FRIZZELL C, UHLIG S, MILES C O. Biotransformation of zearalenone and zearalenols to their major glucuronide metabolites reduces estrogenic activity[J]. *Toxicology in Vitro*, 2015, 29 (3): 575–581.
- [17] PESTKA J J. Deoxynivalenol: Mechanisms of action, human exposure, and toxicological relevance[J]. *Archives of Toxicology*, 2010, 84: 663–679.
- [18] PESTKA J J. Deoxynivalenol: Toxicity, mechanisms and animal health risks[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 137: 283–298.
- [19] MARIN S, RAMOS A J, CANO-SANCHO G, et al. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, 60: 218–237.
- [20] 王玉合, 张伟锋, 蒯跃磊. 霉菌毒素对畜禽的危害及防治措施[J]. *山东畜牧兽医*, 2023, 44(8): 31–33.
WANG Y H, ZHANG W F, LIN Y L. The hazards of mycotoxins to livestock and poultry and their prevention and control measures[J]. *Shandong Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2023, 44(8): 31–33. (in Chinese)
- [21] MARIN D E, TARANU I, BUNACIU R P, et al. Changes in performance, blood parameters, humoral and cellular immune responses in weanling piglets exposed to low doses of aflatoxin[J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80: 1250–1257.
- [22] SMITH G W, CONSTABLE P D, TUMBLESON M E, et al. Sequence of cardiovascular changes leading to pulmonary edema in swine fed culture material containing fumonisin[J]. *American Journal of Veterinary Research*, 1999, 60: 1292–1300.
- [23] GALLO A, GIRAUDI G, FRANDSEN J, et al. Review on mycotoxin issues in ruminants: occurrence in forages, effects of mycotoxin ingestion on health status and animal performance and practical strategies to counteract their negative effects[J]. *Toxins*, 2015, 7: 3057–3111.
- [24] GALLO A, MINUTI A, BANI P, et al. A mycotoxin-deactivating feed additive counteracts the adverse effects of regular levels of Fusarium mycotoxins in dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2020, 103: 11314–11331.
- [25] BATTACONE G, NUDDA A, PULINA G. Effects of Ochratoxin A on livestock production[J]. *Toxins*, 2010, 2: 1796–1824.
- [26] MARQUARDT R R. Effects of molds and their toxins on livestock performance: A Western Canadian perspective[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1996, 58: 77–89.
- [27] PRICE D K, WEAVER D A. How mycotoxins threaten bird health and performance[J]. *International Poultry Production*, 2023, 31(1): 11–13.
- [28] SEO H, JANG S, JO H, et al. Optimization of the QuEChERS-Based analytical method for investigation of 11 mycotoxin residues in feed ingredients and compound feeds[J]. *Toxins*, 2021, 13(11): 767.
- [29] RODRIGUES I, NAEHRER K. Prevalence of mycotoxins in feed stuffs and feed surveyed worldwide in 2009 and 2010[J]. *Phytopathologia Mediterranea*, 2012, 51: 175–192.
- [30] MONBALIU S, VAN POUCKE C, DETAVERNIER, et al. Occurrence of mycotoxins in feed as analyzed by a multi-mycotoxin LC-MS/MS method[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(1): 66–71.
- [31] 王京, 梁海军, 李复煌, 等. 2010—2021年我国饲料产品与饲料原料黄曲霉毒素B₁调查分析[J]. *动物营养学报*, 2025, 37(1): 682–700.
WANG J, LIANG H J, LI F H, et al. Investigation and analysis of Aflatoxin B₁ in feed products and feed raw materials in China from 2010 to 2021[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2025, 37(1): 682–700. (in Chinese)
- [32] 苏青云, 齐莎日娜, 雷元培, 等. 2022年中国饲料和原料中霉菌毒素污染调查报告[J]. *饲料工业*, 2024, 45(9): 121–125.
SU Q Y, QI S R N, LEI Y P, et al. A Survey Report on The mycotoxin contamination of Chinese raw materials and feed in 2022[J]. *Feed Industry*, 2024, 45(9): 121–125. (in Chinese)
- [33] BELGACEM H, BEN SALAH-ABBES J, EZZDINI K A, et al. Lactobacillus plantarum MON03 counteracts zearalenone genotoxicity in mice: chromosome aberrations, micronuclei, DNA fragmentation and apoptotic gene expression[J]. *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2019, 840: 11–19.
- [34] SHAR Z H, FLETCHER M T, SUMBAL G A, et al. Banana Peel: An effective biosorbent for aflatoxins[J]. *Food Additives & Contaminants*, 2016, 33(5): 849–860.
- [35] ARMANDO M R, PIZZOLITTO R P, ESCOBAR F, et al. Saccharomyces cerevisiae strains from animal environmental with aflatoxin B1 binding ability and anti-pathogenic bacteria influence in vitro[J]. *World Mycotoxin Journal*, 2011, 1: 59–68.
- [36] RISA, ANITA, CSERHATI, et al. Biodegradation of aflatoxin-B1 and zearalenone by *Streptomyces* sp collection[J]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2016, 108: 48–56.

(责任编辑:范杰英)