

饲料中霉菌毒素的研究进展

刘水灵¹, 车丽涛², 张春勇¹, 安清聪^{1*}

(1. 云南农业大学 动物科学技术学院, 云南昆明 650201; 2. 昆明三正生物科技(集团)有限公司, 云南昆明 650201)

摘要 霉菌毒素是霉菌在生长繁殖过程当中产生的高毒性次级代谢产物, 普遍存在于饲料原料中, 对动物健康和人类的食品安全形成了极大威胁。介绍了饲料中常见霉菌毒素的种类及其对动物的危害, 并对霉菌毒素的脱毒方法进行了综述。

关键词 霉菌毒素; 危害; 脱毒方法

中图分类号 S816 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)31-0004-04

Research Progress of Mycotoxin in Feed

LIU Shui-ling¹, CHE Li-tao², ZHANG Chun-yong¹ et al (1. Institute of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201; 2. Kunming San Zheng Biological Technology (Group) Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650201)

Abstract Mycotoxin is a highly toxic secondary metabolite produced in the process of growth and reproduction. It exists widely in feed materials and poses a great threat to the health of animals and the safety of human food. The types of mycotoxins in feed and their harm to animals were introduced, and the detoxification methods of mycotoxins were reviewed.

Key words Mycotoxin; Harm; Detoxification method

霉菌毒素是饲料原料和饲料中含有的一种抗营养因子, 是一种次生代谢产物, 具有较强的真菌毒性。当前, 已知的霉菌毒素有 300 多种, 其中以呕吐毒素 (Deoxynivalenol, DON)、玉米赤霉烯酮 (Zearalenone, ZEN/ZEA)、T-2 毒素、赭曲霉毒素 A (Ochratoxin A, OTA)、伏马毒素 (烟曲霉毒素, Fumoninsins, FUN) 和黄曲霉毒素 B1 (Aflatoxins, AF1) 对人类和动物的危害最大, 这几种霉菌毒素都具有稳定性和熔点较高, 不易发生溶解, 分解缓慢等理化性质。

在饲料原料的收获、加工、运输和储存的各个环节都会受到霉菌毒素的污染。霉菌的生长需要一定的环境条件, 尤其是水分、温度、湿度、底物等因素的影响。水分活性越趋近 1, 微生物越易生长繁殖。要使产毒霉菌的繁殖受到抑制, 水分活性应在 0.7 以下。霉菌的生长繁殖的最适温度范围是 25~30 ℃, 温度低于 0 ℃ 或高于 30 ℃ 时, 霉菌则不能产毒或产毒能力减弱。环境的相对湿度不同, 生长繁殖的霉菌也存在差异。干生性霉菌 (如白曲霉) 在相对湿度小于 80% 的环境中易于繁殖; 中生性霉菌 (如青霉) 在相对湿度 80%~90% 的环境中易于繁殖; 湿生性霉菌 (毛霉) 在相对湿度为 90% 以上的环境中易于繁殖。

饲料霉变产生的霉菌毒素被动物采食后, 主要有三条代谢途径。一是经消化道之后直接排出体外; 二是通过肠道吸收后进入体循环, 到达相应的靶器官进行代谢或沉积, 或者通过乳腺组织、泌尿系统排出体外; 三是在机体的肠肝循环中被反复重吸收。因此, 霉菌毒素既能影响动物的生产性能, 又可能在动物机体的各个组织形成残留, 影响动物源性食品的安全性。霉菌毒素对人类食品和动物饲料的安全构成了重大威胁。因此正确认识饲料中霉菌毒素的危害及其脱毒方法对于动物生产和人类健康安全尤其重要。

调查结果表明, 饲料及饲料原料霉菌毒素污染状况日益严重, 高达 100% 的受检饲料及原料不同程度被霉菌毒素污染, 且普遍在同一样品中检测到了多种霉菌毒素, 98.97% 的饲料及原料受到 2 种以上霉菌毒素污染^[1]。

1 霉菌毒素的来源、结构特性, 体内代谢及其危害

1.1 呕吐毒素

1.1.1 呕吐毒素的来源、结构特性。 呕吐毒素主要来源于玉米、小麦、大麦及其副产品中的霉菌毒素, 主要由禾谷镰刀菌、尖孢镰刀菌、串珠镰刀菌、雪腐镰刀菌等镰刀菌在适宜条件下产生, 是单端孢霉烯类毒素的代表毒素之一。呕吐毒素的化学名为 3 α , 7 α , 15-三羟基-12, 13-环氧单端孢霉-9 烯-8 酮, 分子量为 296, 熔点为 151~153 ℃, 易溶于甲醇、乙醇、乙腈和丙酮等极性溶剂, 不溶于正己烷、丁醇和石油醚, 在弱酸中部分发生分解, 耐热、耐压。

1.1.2 呕吐毒素的体内代谢及其危害。 动物对呕吐毒素的代谢主要依赖于肠道微生物的降解, 而呕吐毒素快速且几乎全部在动物胃或胃肠道前段被吸收, 因此单胃动物几乎很少或不能代谢呕吐毒素, 反刍动物的瘤胃微生物能代谢部分呕吐毒素, 呕吐毒素在家禽体内的代谢主要发生在盲肠和结肠。动物种类不同, 对呕吐毒素的敏感性也存在差异, 动物对其 DE 敏感性由高到低依次为: 猪>小鼠>大鼠>家禽>反刍动物^[2]。

Eriksen 等^[3] 研究均显示, 动物采食含有呕吐毒素的饲料后, 会出现食欲下降, 呕吐腹泻, 胃肠功能紊乱, 免疫力下降等状况, 影响动物的健康和生长性能。猪采食被呕吐毒素污染的饲料后, 会出现呕吐腹泻, 站立不稳等中毒症状, 另外, 怀孕母猪采食这种饲料后, 还可出现机体免疫力下降, 流产, 死胎等情况, 且能够在胎儿的血清、肝脏和肾脏等器官检测到呕吐毒素。Bergsjø 等^[4] 研究表明, 生长猪采食含 DON 4 mg/kg 的饲料后, 其采食量和体重下降。朱小明^[5] 试验证实, DON 可导致小鼠多种骨骼畸形, 且 DON 降低了怀孕母鼠的每胎产仔数和胎鼠体重。一般来说, 反刍动物对 DON 有

作者简介 刘水灵(1991—), 女, 河南郑州人, 硕士研究生, 研究方向: 单胃动物营养。* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事单胃动物营养研究。

收稿日期 2018-07-02

一定的耐受性,主要是因为反刍动物瘤胃微生物能够将毒性较强的 DON 转化为毒性较低的 DOM-1, DON 的毒性是 DOM-1 的 54 倍。通常只有极高浓度的 DON 才会使反刍动物出现不良反应,低浓度或中浓度的 DON 不会对反刍动物造成不良影响。Alberto 等^[6]人研究表明,当日粮中 DON 浓度在 2.6~6.5 mg/kg 时,奶牛产奶量将会降低 13% 左右。Ingalls 等^[7]人研究显示,用含 DON 14.6 mg/kg 的精料饲喂奶牛,牛的采食量、产奶量、奶成分及瘤胃 pH 没有发生变化。

1.2 玉米赤霉烯酮(F-2 毒素)

1.2.1 玉米赤霉烯酮的来源、结构特性。

玉米赤霉烯酮(zearealenone, ZEA), 又称 F-2 毒素, 主要由禾谷镰刀菌、三线镰刀菌等镰刀菌属产生, 1962 年由 Stob 等人首先从禾谷镰刀菌污染的霉变玉米中分离得到, 具有类雌激素样的作用, 其化学名为 6-(10-羟基-6-氧基碳稀基)- β -雷锁酸- μ -内酯, 分子量为 328, 熔点为 161~163 °C, ZEA 易溶于乙醚、乙醇等溶剂, 微溶于石油醚, 不溶于水、二氧化碳等溶液。

1.2.2 玉米赤霉烯酮的体内代谢及其危害。

ZEA 生物转化最主要的器官是小肠和肝脏。在不同的 pH 值条件下, ZEA 的代谢产物不同。当 pH 为 7.4 时, 其主要代谢产物是 β -ZEA, 当 pH 为 4.5 时, 其代谢产物主要是 α -ZEA。ZEA 经胃肠道吸收后, 主要在动物机体的肝脏和小肠进行代谢和转化。ZEA 在动物体内主要有两条代谢途径, 一条途径是 ZEA 在 3 α /3 β -羟基类固醇脱氢酶的催化下, 形成 α / β -玉米赤霉烯醇; 另一条途径是 ZEA 在尿苷二磷酸葡萄糖醛酸转移酶的催化下, ZEA 和其代谢产物与葡萄糖醛酸形成共轭化合物。

ZEA 对动物的危害主要表现为生殖器官的损伤; 降低免疫细胞的数量; 肝细胞肿胀, 发生颗粒变性, 诱导肝组织炎症的发生; 影响细胞 DNA 及蛋白质的合成, 导致氧化损伤, 使细胞死亡。猪对 ZEA 的毒性反应最敏感, 尤其是在性成熟期前, 其对猪的危害包括发情期延长、持续黄体、卵巢萎缩、假孕、死产、产弱仔等现象, 且母猪在发生 ZEA 中毒之后、生殖器官(子宫、子宫输卵管、子宫颈、阴道等)都会发生不同程度的损伤。反刍动物对 ZEA 毒性反应较单胃动物弱, 主要是因为瘤胃微生物发挥了一定的解毒作用。但高剂量的 ZEA 仍然可以导致性成熟期前的小母牛发生不孕症状, 且其乳腺发生增大。Dai 等^[8]的研究表明, 给断奶仔猪饲喂 ZEA 污染的饲料后, 猪卵巢皮质部的生长卵泡的密度和最大卵泡直径与对照组相比增大了两倍多, 且卵巢的发育较对照组快。俞亚玲等^[9]研究结果显示, 大鼠发生 ZEA 中毒后, 其输卵管子宫水肿, 卵巢充血; 卵泡闭锁, 颗粒细胞发生凋亡。姜淑贞等^[10]2014 年研究发现, 仔猪采食含有 ZEA 污染的饲料后, 发现肝细胞颗粒变性、萎缩, 间质增生, 肝脏中炎性细胞增多。

1.3 T-2 毒素

1.3.1 T-2 毒素的来源、结构特性。

T-2 毒素是单端孢霉毒素当中毒性最强的毒素之一, 属于单端孢霉烯类 A 族毒素, 主要由三线镰刀菌和梨孢镰刀菌产生^[11-12]。T-2 毒素是

一种非挥发性的低半萜烯化合物, 化学名为 4 β , 15-二乙酰氧基-8 α (3-甲基丁酰氧基)-3 α -羟基-12, 13-环氧单端孢霉-9-烯, 其中 C-9, C-10 之间形成形成一个双键, C-12, C-13 之间形成环氧基团, 双键和氧环是其活性部位, 双键还原或氧环打开均可使其毒性下降。T-2 毒素的分子量为 466.122, 熔点为 151~152 °C, 易溶于极性有机溶剂, 难溶于水。T-2 毒素在中酸性(pH 为 3, 5, 7)条件下 105~121 °C 加热 30~60 min, T-2 毒素浓度降低; T-2 毒素在碱性条件下不稳定且碱性条件能促进 T-2 毒素的热降解^[13]。

1.3.2 T-2 毒素的体内代谢及其危害。

T-2 毒素在动物体内的代谢方式包括水解、羟基化、脱环氧和结合代谢, 主要代谢器官是动物的肝脏和肠道, 主要代谢产物是 HT-2, T-2 毒素属于组织刺激因子和致炎物质, 主要损害动物机体的造血组织和免疫器官。几乎所有物种都对 T-2 毒素敏感, 猪对其最为敏感。T-2 毒素可以通过血液循环进入机体的胸腺、骨髓及肝脏等免疫器官, 进而抑制 DNA 和 RNA 的转录和翻译过程, 阻碍蛋白质的合成, 损害机体的免疫功能和繁殖机能^[14]。T-2 毒素有较强的细胞毒性, 能使骨髓细胞、胸腺细胞及肠上皮细胞核发生崩解, 抑制骨髓造血功能, 导致造血组织坏死, 血细胞数目减少, 尤其是白细胞减少最为明显。T-2 毒素可引发凝血功能发生障碍, 延长凝血时间。T-2 毒素还能刺激皮肤和黏膜, 引起局部炎症甚至坏死。

陈心仪对我国 18 个省份的 176 份样品进行检测分析, 结果显示, T-2 的检出率为 100%^[15]。据中国动物保护协会调查统计的结果显示, 在养殖过程中, 饲料原料被霉菌毒素污染后, 将导致哺乳仔猪拉稀, 母猪出现假发情或不发情、泌乳量下降, 胚胎发生畸形或坏死, 育肥猪生长减缓、肝脏肿大、肾脏受损、肠道出血; 蛋鸡产蛋率下降、蛋重减轻、蛋壳质量变差; 奶牛产奶量下降、牛奶品质降低, 犍牛发生直肠痉挛、脱肛^[16]; 动物的免疫力下降, 发生急性或慢性中毒情况, 还可能对机体的神经和内分泌紊乱, 对皮肤组织等造成损害。

1.4 黄曲霉毒素

1.4.1 黄曲霉毒素的来源、结构特性。

黄曲霉毒素为二氢呋喃香豆素的化学结构类似物, 具有高毒性和高致癌性, 是黄曲霉和寄生曲霉的次级代谢产物, 主要分为三类: B 类在 365 nm 紫外光照射下呈现蓝色, M 类呈现绿色荧光, G 类呈现蓝紫色荧光, 是从牛奶中分离得到的。黄曲霉毒素 B1 的分子式是 C₁₇H₁₂O₆, 分子量约为 312.27, 其难溶于水, 易溶于甲醇、氯仿和丙酮等有机溶剂, 但不溶于己烷、石油醚、乙醚等^[16]。黄曲霉毒素及其衍生物有 20 多种, 其中黄曲霉毒素 B1 的含量最多, 毒性最大, 且性质稳定。黄曲霉毒素的熔点为 200~300 °C, 在 268 °C 下, 部分发生分解, 低浓度的黄曲霉毒素经紫外线照射毒性降低^[17]。黄曲霉毒素耐热性强, 在光、热、酸、中性溶液中等条件下都较稳定, 在强酸溶液或氧化剂存在时少部分可发生分解, 且氧化剂浓度越高, 分解越快, 在强碱溶液中迅速分解并生成盐。

1.4.2 黄曲霉毒素的体内代谢及其危害。

饲料中大约 1/2

的 AFB1 主要通过十二指肠吸收,其次是肾脏。AFB1 在动物体内经细胞内质网微粒体混合功能氧化酶系的作用,发生脱甲基、羟化及环氧化反应,生成的主要代谢产物有 AFM1、AFP1、AFQ1 和黄曲霉毒素醇,前三者均无活性,经尿液或粪便排出体外,黄曲霉毒素醇通过氧化作用又形成 AFB1^[18]。正常情况下,如不连续过量摄入黄曲霉毒素,其一般不在体内进行蓄积,一次摄入后大部分约经一周通过呼吸或粪尿途径排出体外。

动物的种属、年龄、性别等不同对黄曲霉毒素的敏感性不同,一般情况下,对黄曲霉毒素的耐受性依次为:雏鸭>雏鸡>仔猪>犊牛>育肥猪>成年牛,种用畜禽比肉用畜禽敏感,雄性动物比雌性动物敏感。黄曲霉毒素影响机体免疫功能主要是通过通过与细胞 DNA 或 RNA 结合,进而阻止蛋白质合成。黄曲霉毒素还具有诱导突变以及致癌作用。可对几乎所有动物的肝脏产生危害作用,导致动物的肝脏发生出血、变性,诱导动物的胃、脾脏、肺脏、肾脏、直肠等脏器发生病变。

2 霉菌毒素的脱毒方法

饲料原料在生产、加工、储存等过程中,在适宜的温度、湿度、pH 等条件下容易产生霉菌毒素,霉菌毒素会使饲料中的脂肪分解变质,降低饲料中赖氨酸和精氨酸含量以及蛋白质的消化率等,还能进入动物体内转化成有毒物质,影响动物的生长和生产,给动物以及人类健康都带来了一定的威胁。受污染的粮食和饲料产品可以通过物理、化学和生物方法实现安全、合理的使用受污染的谷物,提高食品安全性和经济价值。

ZEN 分子可以吸收一定波长的光,毒性消失,通过光化学反应破坏霉菌毒素的分子结构。该解毒方法简单,稳定,快速,加工成本低,但往往会产生有毒的中间产物,最终产品中会残留有毒物质,影响质量。因此,通过对以往研究中的解毒策略的回顾,迫切需要开发一种高效,可回收,安全的吸附材料,真正实现霉菌毒素的完全去除。

2.1 物理脱毒法 物理脱毒法主要有机械分离、颗粒粉碎、密度筛分法、热处理、紫外线、水洗、吸附剂等处理方式。在实际的生产实践中,可先通过机械分离或筛分将饲料中毒素进行初步分离,然后再使用其他方法对毒素进一步进行处理,在养殖生产和饲料加工过程中,一般采用吸附法进行脱毒。

热处理法就是在高湿度条件下,通过高热高压方式去除霉菌毒素。例如在 260 °C 条件下,处理被黄曲霉毒素污染的玉米,其毒素含量下降 85%。贺冰^[20]使用波长为 365 nm,功率为 100 W 的紫外灯设备对被 AFB1 污染的花生油进行照射处理,随着照射时间的增加,花生油中 AFB1 的含量逐渐降低,在 30 min 内其降解率可达到 95%。水洗法是将发霉的玉米倒入一个容器,加水之后,进行搅拌、静置、浸泡、换水一系列过程,直到浸泡的水由黄棕色变为无色。其工作量较大,且费时费水,一般只有污染物的量较少时才使用此方法进行脱毒。吸附剂处理法是通过吸附的方式来去除毒素,比如利

用活性炭、蒙脱石、膨润土、酵母细胞壁等吸附剂。如水合铝硅酸钠钙(HSCAS)(由沸石中提取)对黄曲霉毒素 B1 有较好的选择性吸附能力。此方法简单易行,使用起来较方便,但是也存在一个较大的缺点,这些吸附剂只是吸附了霉菌毒素,但霉菌毒素的量并未发生减少,对饲料的维生素、微量元素等其他养分也会有一定的吸附,如果污染的饲料被动物采食后,对动物的健康也有一定影响,且未被动物降解的毒素会通过动物的粪尿等途径排出体外,污染外界环境。

2.2 化学脱毒法 化学脱毒法是利用霉菌毒素的化学性质在强酸、强碱或氧化剂的作用下,将有毒物质转化为无毒物质。常用的有酸处理法,碱处理法,氨处理法和有机溶剂处理法等。

例如,强酸能催化黄曲霉毒素 B1 和 G1 转化为毒性较低的 B2 和 G2,花生粕蛋白产生的黄曲霉毒素 B1 在强酸条件下也能发生水解,进而使其失去毒性。氢氧化钠溶液可水解黄曲霉毒素使其生成钠盐,破坏毒素结构,通过水洗途径即可将毒素去除。在常温或加热条件下,将液氨通入被黄曲霉毒素 B1 污染的饲料或饲料原料,密封一段时间后,即去除黄曲霉毒素。陈冉等^[20]研究结果表明,被黄曲霉毒素污染的花生在通气方式下,臭氧浓度为 6 mg/L,处理时间为 30 min、花生水分含量在 5%时,花生中黄曲霉毒素的总量和黄曲霉毒素 B1 脱毒率分别达到了 65.88%和 65.9%,脱毒效果最好。有机溶剂浸提法一般应用较多,几乎可全部去除油中的黄曲霉毒素。

尽管化学脱毒法脱毒效果较好,但是会对饲料的营养物质造成一定程度的破坏且影响饲料的适口性。

2.3 微生物脱毒法 微生物脱毒主要是通过微生物或其产生的酶将霉菌毒素进行转化,进而减弱其毒性。因其具有毒性低、污染小、速度快、特异性强,安全性高,残留少或无残留及对饲料营养物质无损伤等优点成为去除霉菌毒素的理想方式。据报道,包括细菌,酵母,霉菌、放线菌和藻类在内的许多微生物都具有生物转化霉菌毒素的能力,因此可去除或降解食物和饲料中的真菌毒素。这些微生物真菌毒素被动物吸收之前在肠道内发挥作用。生物转化反应包括乙酰化反应,葡糖基化、环裂解、水解、脱氨基和脱羧作用。微生物脱毒主要通过两种方式进行,一是菌体与毒素形成复合物的形式减少毒素在体内的停留时间;二是通过生物降解的方式将毒素降解为无毒的化合物,清除其毒性。

Farbo 等^[21]研究发现,与活细胞相比,经过热处理的酿酒酵母细胞对赭曲霉毒素 A 具有更强的吸附力,且无安全隐患问题,是一种具有较高应用价值的生物脱毒资源。李文明^[22]以施氏假单胞菌 F4 细胞悬浮液进行 AFB1(5 μg/mL)DE 降解,共培养 72 h 后,降解率达 86.6%,至 102 h 基本检测不到 AFB1 的残留,同时试验结果表明,AFB1 经 F4 生物降解后其降解产物为低毒或无毒物质。

2.4 复合脱毒法 复合脱毒法就是根据霉菌毒素的不同种类和不同成分,采用两种或两种以上的处理方法去除饲料或其原料中霉菌毒素。大量研究显示,复合脱毒法的效果要优

于单一脱毒法。

胡文娟^[23]体内试验研究显示, AFB1 和 DON 对小鼠的联合毒性显著高于其中任一毒素的毒性, 而添加 0.5% 复合脱毒剂对两种毒素都具有较好的吸附效果, 能有效缓解机体的损害。杨彦琼^[24]研究显示, 改性膨润土与酵母细胞提取物复合物(比例 7:3)对 AFB1 吸附效果最佳, 吸附量和吸附率分别达 18.39 $\mu\text{g/g}$, 91.97%; 同时对该复合物在不同 pH 条件下的吸附效果和吸附稳定性的研究表明: 该复合吸附剂在 pH 为 7.0 时吸附量最大, 平均吸附率约为 91.97%; 随着 pH 的减小, 吸附率降低。靳志强等^[25]试验结果表明, 与单一处理相比, 霉变玉米的霉菌孢子数量和黄曲霉毒素 B1 含量在微波、紫外线与臭氧组合处理方式下, 脱毒效果更显著, 且没有使玉米品质的发生显著改变。

3 小结

饲料及其原料中的霉菌毒素种类繁多, 不仅影响饲料的营养价值和适口性, 对养殖业都造成了一定的影响, 且给人类食品安全和身体健康带来了潜在风险, 因此要严格防控饲料在生产、加工、运输及储存环节霉菌毒素的产生。如果饲料及其原料发生霉变, 要根据霉菌毒素的结构特性及污染等情况, 科学合理的选择脱毒方法。

参考文献

- [1] 杜妮. 2017 年我国部分地区饲料及饲用原料霉菌毒素污染调查报告[J]. 猪业科学, 2018(2): 58-60.
- [2] PRELUSKY D B, GERDES R G, UNDERHILL K L, et al. Effects of low-level dietary deoxynivalenol on haematological and clinical parameters of the pig[J]. Natural toxins, 1994, 2(3): 97-104.
- [3] ERIKSEN G S, PETTERSSON H. Toxicological evaluation of trichothecenes in animal feed[J]. Animal feed science and technology, 2004, 114: 205-239.
- [4] BERGSJØ B, MATRE T, NAFSTAD I. Effects of diets with graded levels of deoxynivalenol on performance in growing pigs[J]. Zentralblatt für veterinärmedizin, 1992, 39(10): 752-758.
- [5] 朱小明. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇致小鼠骨骼畸形模型建立及差异蛋白的筛选[D]. 泰安: 泰山医学院, 2010.
- [6] ALBERTO GIMENO, 王琦, 任东东, 等. 霉菌毒素对奶牛的不良影响[J]. 中国乳业, 2010(7): 34-37.

- [7] INGALLS J R. Influence of deoxynivalenol on feed consumption by dairy cows[J]. Animal feed science & technology, 1996, 60(3/4): 297-300.
- [8] DAI M L, JIANG S Z, YUAN X J, et al. Effects of zearalenone-diet on expression of ghrelin and PCNA genes in ovaries of post-weaning piglets[J]. Animal reproduction science, 2016, 168: 126-137.
- [9] 俞亚玲, 周宏超, 孙薇薇, 等. 玉米赤霉烯酮中毒大鼠卵巢组织 Bax 和 Bcl-2 的表达[J]. 中国兽医学报, 2012, 32(7): 1015-1019.
- [10] 姜淑贞, 孙华, 黄丽波, 等. 不同水平玉米赤霉烯酮对断奶仔猪血清代谢产物和肝肾组织病理学影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3708-3715.
- [11] LI Y S, WANG Z H, BEIER R C, et al. T-2 toxin, a trichothecene mycotoxin: Review of toxicity, metabolism, and analytical methods[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2011, 59(8): 3441-3453.
- [12] MATEO J J, MATEO R, JIMÉNEZ M. Accumulation of type A trichothecenes in maize, wheat and rice by *Fusarium sporotrichioides* isolates under diverse culture conditions[J]. International journal of food microbiology, 2002, 72(1/2): 115-123.
- [13] 邹志义, 黄斐, 孙建利, 等. 热处理对脱氧雪腐镰刀菌烯醇和 T-2 毒素的去除作用[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(13): 6-10.
- [14] 陈心仪. 2009-2010 年中国部分省市饲料原料及配合饲料的霉菌毒素污染概况[J]. 浙江畜牧兽医, 2011, 36(2): 7-10.
- [15] 靳露, 董国忠. 呕吐毒素对动物免疫及繁殖性能的影响[J]. 饲料研究, 2012(3): 18-21.
- [16] GRATZ S, MYKKÄNEN H, ELNEZAMI H. Aflatoxin B1 binding by a mixture of *Lactobacillus* and *Propionibacterium*: In vitro versus ex vivo[J]. Journal of food protection, 2005, 68(11): 2470-2474.
- [17] 戴军. 黄曲霉毒素 B₁ 降解酶产生菌的筛选及发酵制备酶制剂的研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2015.
- [18] 林台, 黎乐群, 彭涛. 黄曲霉毒素 B₁ 代谢及致肝癌机制的研究进展[J]. 中国现代医药杂志, 2007, 9(12): 131-133.
- [19] 贺水. 花生油中黄曲霉毒素 B₁ 紫外光降解及其安全性评价[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [20] 陈冉. 花生中黄曲霉毒素降解技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [21] FARBO M G, URGEGHE P P, FIORI S, et al. Adsorption of ochratoxin A from grape juice by yeast cells immobilised in calcium alginate beads[J]. International journal of food microbiology, 2016, 217: 29-34.
- [22] 李文明. 黄曲霉毒素 B₁ 生物降解产物的分离鉴定及其致突变性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2013.
- [23] 胡文娟. 复合吸附剂对黄曲霉毒素 B₁ 和脱氧雪腐镰刀菌烯醇联合毒性的脱毒效果研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- [24] 杨彦琼. 新型复合吸附剂对黄曲霉毒素 B₁ 的吸附脱毒研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [25] 靳志强, 王顺喜. 微波、紫外线与臭氧组合技术对霉菌及其毒素的协同影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(4): 147-154.

(上接第 3 页)

- [24] 周佳松, 刘秀华, 廖兴勇, 等. 南方丘陵区土地整理新增耕地质量评价研究[J]. 西南农业大学学报(社会科学版), 2004, 2(1): 30-33.
- [25] 全国农业技术推广服务中心, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所. 耕地质量演变趋势研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [26] 赵春雨, 朱永恒. 耕地质量指标体系的构建[J]. 资源开发与市场, 2006, 22(3): 224-227.
- [27] 杨万勤, 王开运. 土壤酶研究动态与展望[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(5): 564-570.

- [28] 李彤, 于瑛. 耕地质量评价研究进展及发展趋势[J]. 北京农业, 2016(3): 204-205.
- [29] 张衍毓. 基于 RS 和 PRA 的耕地质量综合评价研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- [30] 鲁明星, 贺立源, 吴礼树. 我国耕地地力评价研究进展[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 866-871.
- [31] 单美, 王训. 我国耕地质量研究进展[J]. 泰山学院学报, 2011(6): 110-116.

科技论文写作规范——讨论

着重于研究中新的发现和重要方面, 以及从中得出的结论。不必重复在结果中已评述过的资料, 也不要模棱两可的语言, 或随意扩大范围, 讨论与文中无多大关联的内容。