黄曲霉毒素对奶牛生产的影响及其降解方法研究进展

宋善友

沂南县辛集畜牧兽医站，山东沂南 276300

摘　要：黄曲霉毒素（AF）是由黄曲霉和寄生曲霉等真菌产生的次级代谢产物，在适宜条件下易污染食品及动物饲料，对人类与动物健康构成威胁。奶牛摄入黄曲霉毒素B_1（AFB_1）后，其代谢产物黄曲霉毒素M_1（AFM_1）可分泌至乳汁中，影响乳品安全。本文系统综述了AF对奶牛生产性能、瘤胃发酵及繁殖功能的影响，并归纳了当前物理、化学及生物法在降解AF方面的研究进展，以期为防控AF对奶牛养殖的危害提供理论依据。

关键词：黄曲霉毒素（AF）；奶牛；生产性能；繁殖；降解

文章编号：1671-4393（2025）10-0051-07　　DOI:10.12377/1671-4393.25.10.08

0 引言

黄曲霉毒素（Aflatoxin，AF）主要是由真菌如黄曲霉（Aspergillus flavus）、诺米黄曲霉（Aspergillusnomius）和寄生曲霉菌（Aspergillus parasiticus）等生物合成的次级代谢产物，在鉴定的20 个AFs中，主要由黄曲霉产生黄曲霉毒素B_1（AFB_1）和黄曲霉毒素B_2（AFB_2），以及寄生曲霉菌产生黄曲霉毒素G_1（AFG_1）和黄曲霉毒素G_2（AFG_2）4 种不同化学结构类型[1]，经常污染农作物、各种食品和动物饲料。AF毒性很强，经常出现在玉米、花生、水稻、小麦和高粱等主要经济作物中。根据联合国粮食及农业组织（FAO）的数据，世界上1/4农作物受到霉菌毒素影响[2]。它们具有高度肝毒性、肾毒性和免疫毒性，其中，AFB_1是最危险的霉菌毒素之一，即使在低浓度下也具有很强的致癌性、诱变性和致畸性，对食品安全和公共卫生构成严重风险，AFB_1被国际癌症研究机构（International Agency for Research on Cancer，IARC）归类为Ⅰ类致癌物[3]。据估计，饲料中1%～2%的AFB_1会转移至牛奶中成为AFM_1，在高产奶牛中，这个比例可增加至6%[4]。王京等[5]通过分析2010—2021年我国饲料产品及饲料原料中AFB_1的含量及变化情况发现，0.744%样本AFB_1含量高于限量标准，61.330%样本未检出AFB_1，主要污染反刍动物精料补充料。

奶牛摄入AFB_1后，肝脏通过线粒体细胞色素P450酶系统发生部分生物转化，产生AFM_1和AFM_2，这是两种羟基化代谢物，可被分泌到奶牛的乳汁中。虽然AFM_1的致癌性大约比AFB_1低10 倍，但前者对人类细胞具有直接的细胞毒性[6]。在反刍动

作者简介：宋善友（1983-），男，山东沂南人，本科，高级兽医师，研究方向为动物医学。

中国乳业线上阅读

物和单胃动物的研究表明，AFB_1可通过诱导氧化应激和降低血红蛋白浓度来改变红细胞形态[7]。虽然巴氏杀菌或超高温处理等热处理方法能够降解一些AFM_1代谢物，但这些残留物具有足够的热稳定性，能够在加工后的牛奶中持续存在。奶牛长期在饲喂AF污染的日粮状态下，会引起产奶量下降、厌食、腹泻和繁殖障碍等多种症状，甚至造成AF中毒而死亡。本文介绍AF理化特性、影响因素，梳理总结有关AF对奶牛生产性能、瘤胃发酵功能以及繁殖机能的影响，阐述物理、化学和生物降解方法，以期为防控AF提供参考。

1 AF理化特性

AF常温下为白色至淡黄色结晶固体，难溶于水，易溶于油、甲醇、丙酮和氯仿等有机溶剂，耐高温，熔点237～299 ℃，一般的烹调加工温度下很难被破坏；在中性、弱酸性溶液很稳定，pH值1～3的酸性溶液中稍分解，在pH值9～10溶液中迅速分解破坏；含有二呋喃环和氧杂萘邻酮（香豆素）结构；由于具有显著急性和慢性毒理学性质，被认为是最危险的化学物质之一。在饲料基质中检测到的最相关化合物中，AFB_1和AFB_2在紫外光下强烈荧光，发出蓝色荧光，AFG_1和AFG_2在紫外光下强烈荧光，发出绿色荧光，化学结构如图1所示。

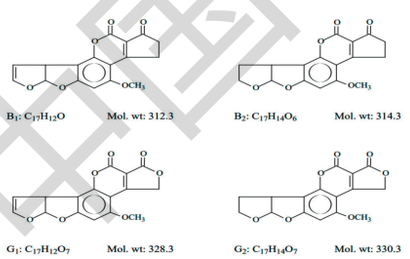


图 1 主要 AF 化学结构

2 AF的影响因素

温度、水分活度（Water activity，AW）、pH值、碳和氮等非生物因素对AF生物合成途径有很大影响，特别是AF污染高度依赖于温度和水分活度。这两种因素不仅促进黄曲霉菌的生长，而且对AF产生基因簇的激活也有很大影响。较高的水分活度有利于更好的真菌生长和毒素合成。据估计，水分活度约为0.99 和温度为29～30 ℃的环境有利于AF的产生。低于25 ℃和高于37 ℃的温度不利于AF的产生，而低于0.85的水分含量会减慢毒素的产生，在0.70～0.75时完全停止[8]。

3 AF对奶牛的影响

3.1 AF 对奶牛生产性能的影响

饲料中的AF对奶牛生产性能产生负面影响。Queiroz等[9]给奶牛饲喂每公斤饲料干物质含75 μg AFB_1，观察到乳脂产量降低、3.5%乳蛋白浓度降低，且有产奶量降低的趋势。Ogunade等[10]报道，给泌乳奶牛饲喂每公斤饲料干物质含75 μg AFB_1，产奶量减少2.5 kg，3.5%脂肪校正乳产量减少1.7 kg。Harvey等[11]发现，采食每公斤饲料干物质含2.6 mg AF的羊羔体重增长减少。同样，Edrington等[12]报道，给生长羔羊饲喂含2.5 mg/kgAF的日粮，平均日增重、采食量和饲料效率均降低。然而，一些研究表明，AF不影响奶牛的生产性能。例如，Sulzberger等[13]报道，100 μg/kg AFB_1不影响产奶量、采食量和饲料效率；同样，Rodrigues等[14]表明，饲喂105.5 μg/kg AF（B_1、B_2、G_1和G_2的混合物）不影响产奶性能、采食量和饲料效率。

高浓度AF对动物生长、生产和健康产生严重影响。研究发现，食用AF污染饲料的反刍动物血浆代谢物浓度发生改变，这可能表明免疫反应发生变化或者动物健康状况受损。例如，Sulzberger等[13]的研究中，100 μg/kg的AFB_1降低奶牛血浆中的天冬氨酸转氨酶和谷氨酸脱氢酶浓度，这很可能表明肝功能发生改变或受到抑制。Queiroz等[9]给奶牛投喂含有75 μg/kg饲料干物质的AFB_1，血浆结合珠蛋白、β－整合素（β－integrin）浓度升高，表明AF引起炎症反应增强。Ogunade等[10]报道，给泌乳奶牛投喂含有75 μg/kg饲料干物质的AFB_1，降低红细胞计

中国乳业线上阅读

数、血浆血红蛋白浓度。Harvey等[11]报道，食用含有2.6 mg/kg饲料干物质的山羊，天冬氨酸转氨酶、γ-谷氨酰转移酶活性、凝血酶原时间以及胆固醇、尿酸和甘油三酯浓度升高，而葡萄糖、白蛋白、尿素氮和尿素与肌酐比值降低。Edrington等[12]报道，给生长期羔羊投喂含2.5 mg/kg AF的饲料，天冬氨酸转氨酶和γ-谷氨酰转移酶活性、总蛋白和胆固醇浓度升高，而碱性磷酸酶、白蛋白、无机磷、铁和总铁结合力等几项血清参数浓度降低。Fernández等[15]报道，投喂含0.1 mg/mL AF（AFB_1、B_2、G_1和G_2混合物）达37 d的羔羊，其血清抑菌活性、体内细胞免疫功能下降，这表明暴露于AF的动物可能更易感染传染病。

3.2 AF 对奶牛瘤胃发酵和微生物的影响

AF抑制DNA、RNA合成能力以及与酶相互作用能力，可能导致瘤胃微生物活性降低。活化的AFB_1代谢物和AFB_1-8，9环氧化物能与鸟嘌呤形成共价键，在细胞内形成加合物，导致G-T转换、DNA损伤、突变和肿瘤[16]。多项研究发现，AF可对瘤胃微生物生长、瘤胃发酵产生负面影响。AF可通过破坏瘤胃微生物的生长、功能降低奶牛的生长性能和养分消化率。Sinha等[17]报道，用100、250、500、1 000和1 250 μg/kg的AF处理体外瘤胃液中孵育的棉纤维素，其纤维素消失率分别为43.4%、20.9%、21.3%、15.5%和16.4%。此外，增加AF剂量使微生物蛋白合成量分别从48 mg/20 mL降至31、11、10、9和-2.5 mg/20 mL。Westlake等[18]报道，1 000、10 000 μg/L的AFB_1分别使紫花苜蓿干草在体外的干物质降解率降低50%、67%，这些影响归因于对瘤胃微生物的毒性作用。Jiang等[19]报道，320、640和960 ng/mL AFB_1不影响缓冲瘤胃液中干物质的体外消失，但降低紫花苜蓿、黑麦草干草发酵过程中的产气速率。最高剂量（960 ng/kg）还使紫花苜蓿、黑麦草干草在体外发酵总挥发性脂肪酸浓度分别降低12.7%、9.6%。

然而，体外研究中，AF对瘤胃发酵的这种负面效应可归因于高剂量的AF，这在自然界不太可能发生。体内环境具有更复杂的瘤胃环境，可能会使AF降解、快速被吸收至血液中，从而对瘤胃发酵的影响较小。Sulzberger等[13]报告称，在泌乳奶牛中，连续3 d每天给予100 μg/kg AFB_1后，瘤胃中AFB_1的峰值浓度仅为0.20 μg/L，但未具体说明采集瘤胃液的时间与给予AF的时间关系。Jiang等[19]表明，0.75 μg/L AFB_1对体外瘤胃发酵和奶牛全混合日粮的消化率没有影响。Edrington等[12]报告称，日粮干物质中每公斤添加2.5 mg AF会降低生长羔羊的采食量、日增重和饲料效率，并造成肝脏损伤，但对瘤胃发酵没有影响；每公斤饲料干物质含2.5 mg AF会降低育肥羔羊的采食量、日增重和饲料转化率，损伤肝脏，但对瘤胃发酵没有影响。这些研究表明，AF对动物生产性能的负面影响更多是由于其系统性毒性效应，包括免疫抑制，而非对瘤胃微生物的直接毒性。

3.3 AF 对奶牛繁殖性能的影响

关于AF对奶牛或公牛繁殖影响的信息相对较少。在其他物种中的先前研究表明，暴露于AF会对雄性、雌性动物的繁殖的各个方面产生负面影响。Komsky-Elbaz等[20]报道，AFB_1降低公牛精子的活力，表现为质膜完整性降低，并且它还降低精子线粒体膜电位、DNA完整性。精子暴露于10 μmol/L的AFB_1会导致345 个基因差异表达，这些基因参与细胞通路，如胚胎和胎盘发育、细胞周期、DNA修复、组蛋白修饰以及信号通路。

此外，AF通过诱导活性氧（ROS）的过量产生损害卵母细胞、胚胎植入前的发育[21]。ROS主要包括超氧阴离子（O_2^-）、羟基自由基（-OH）、过氧化氢（H_2O_2），它们是自由基，是破坏细胞器功能的小分子，可以靶向脂质、蛋白质、DNA和RNA等大分子，造成细胞过氧化损伤甚至凋亡[22]。Jiang等[19]研究显示，AFB_1可通过ROS降低卵母细胞发育成囊胚百分比、抑制植入前牛胚胎发育。抗氧化剂的添加逆转ROS过量产生，但并未阻止发育到囊胚阶段的减少。研究认为，污染AF的日粮可能导致奶牛潜在的胚胎损失。AFB_1诱导ROS产生的潜在机制可能是通过抑制超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化

中国乳业线上阅读

物酶活性，降低抗氧化能力。此外，ROS可通过外源性物质的代谢过程（通过细胞色素P450系统），将AFB_1代谢为高度活性的代谢物AFB$_1$-8，9-环氧化物[23]。总之，AF影响生殖器官、细胞损害雌雄动物的生育能力，阻碍胚胎植入前后的发育。

4 降解方法

4.1 物理方法

物理方法主要涉及热处理、吸附、萃取、伽马辐照和紫外线照射等。用紫外线照射、电离处理会导致真菌细胞壁降解，并且发芽减少，抑制真菌的生长。热处理可使AF浓度降低9%～100%，水果和其他种类在120 ℃下高压灭菌30 min时，浓度降低9%～39%；花生在1.5 个大气压下高压灭菌90 min，降解达100%[24]。除热处理外，非热处理（如冷等离子体）也可使不同谷物、坚果中的AF降解达95%[25]。据报道，使用伽马射线可有效将水果、蔬菜中的AF污染降低达60%[26]。用500 μg/L AFB_1、250 μg/L AFB_2、250 μg/L AFG_1和250 μg/L AFG_2对花生进行污染，然后在3、5和7 mg/L臭氧浓度和10、20、30和60 min暴露时间条件下，用紫外臭氧（UV/O_3）处理花生。随着暴露时间、臭氧浓度增加，AFB_1、AFB_2、AFG_1和AFG_2的脱毒效果越明显，AFB_1的降解率最高。5 mg/L臭氧在紫外光照射下处理花生30 min后，AFB_1、AFs（$AFs=AFB_1+AFB_2+AFG_1+AFG_2$）的降解率分别为79.01%、67.24%[27]。磷硅酸盐处理动物饲料可减少牛奶中的AF污染。吸附剂、黏土和活性炭具有环状、四面体结构，包含带电荷的孔隙，可以捕获AF。

4.2 化学方法

有机酸和无机酸（包括柠檬酸、乳酸、酒石酸、丙酸和盐酸）在控制AF方面显示出了良好的效果。其中，柠檬酸、乳酸比其他酸更有效，抑制率分别高达86%～92%、67%。化学试剂亚硫酸氢钠能够以不同的比例控制AF。例如，在25 ℃下使用时可实现28%的AF控制率；在亚硫酸氢钠使用前10 min施加0.2%的过氧化氢时，可实现65%的控制率；在亚硫酸氢钠使用后施加高达1 h的45 ℃热量时，可实现48%的控制率；在施加后1 h施加65 ℃热量时，可实现68%的控制率。过硫酸铵（一种氧化剂）使AF污染减少31%～51%。亚硫酸氢钠浓度在0.25%～2%时，减少率为96%～100%。

由于臭氧具有抗菌特性、对包括AF在内的多种霉菌毒素具有高氧化能力，不会产生残留，臭氧处理的使用一直在增加。虽然有报道AFB_1和AFG_1对臭氧敏感，在室温下、臭氧浓度为1.1 mg/L时，5 min内即可轻易降解，但其他研究表明，臭氧用量在6～90 mg/L之间、作用时间从20 min～96 h不等的情况下，能以定量方式（>90%）减少AF[28]。

使用其他盐类和酸类以及碱性化合物（包括盐酸、磷酸、钠、钾、氢氧化钙、碳酸氢钠、氯化钠和硫酸钠）也能使AF污染减少达18%～51%。臭氧、壳聚糖纳米粒子在降低AF含量方面取得了成功应用。水果衍生物（如己烷、氯仿）可用于抑制AF的产生。丁基羟基茴香醚、丁基羟基甲苯、丙基对羟基苯甲酸酯等抗氧化剂显著抑制黄曲霉，从而使AF污染减少。

4.3 生物方法

虽然物理、化学方法可减轻AF污染，然而物理方法（高温和辐射）可能需要非常严格的加工条件，化学方法可能破坏饲料营养组成、降低适口性。生物解毒方法因其安全性、环保性和高效性而被广泛研究。在过去的几十年里，许多研究一直侧重于AF产生霉菌的生物防治。其中涉及三种主要的抑制作用模式：第一种是拮抗微生物快速生长、占据生态位、争夺营养物质和生存空间，排挤病原菌；第二种是抑制真菌生长，减少真菌感染和定殖；第三种是基于抑制AF的生物合成。目前，细菌、真菌（非产毒黄曲霉、木霉菌和青霉菌属等）以及酵母菌株在内的微生物已作为对抗产AF菌株的潜在生物防治剂。芽孢杆菌属是一类多功能的细菌群。在马铃薯葡萄糖肉汤中，AF的积累几乎完全被巨大芽孢杆菌所抑制。枯草芽孢杆菌能够抑制寄

中国乳业杂志社版权

生曲霉的生长、AF的产生，抑制率分别高达92%、100%。因此，巨大芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌表现最高的生物防治活性，既能抑制产AF菌株的生长，又能抑制其AF的产生；而解淀粉芽孢杆菌在共培养数天后也能够减少寄生曲霉菌的生长，并且降解AF。研究发现，荧光假单胞菌在花生培养基中能够使黄曲霉产生AFB_1的量降低99.4%，并且能使黄曲霉的分生孢子萌发抑制率近20%[28]。Mannaa等[29]发现，从稻谷中分离出的假单胞菌菌株AS15也能显著抑制AF的产生、黄曲霉菌丝的生长，抑制率分别为82.9%、68.3%。乳酸菌是通过碳水化合物发酵产生有机酸（主要是乳酸）的益生菌，植物乳杆菌、鼠李糖乳杆菌、干酪乳杆菌、发酵乳杆菌、戊糖乳杆菌、副植物乳杆菌以及德氏乳杆菌乳酸亚种已被确定为对抗产AF真菌的生物防治剂。链霉菌属是革兰氏阳性丝状细菌，广泛生长于土壤和植物上。从花生中分离出的一株链霉菌被发现能够直接或通过次级代谢产物完全抑制黄曲霉的菌丝生长、分生孢子萌发[30]。Shakeel等[31]证明，杨林链霉菌\环圈链霉菌、白黄链霉菌和玫瑰链霉菌对产AF菌株，以及其他常见农作物病原菌也表现出有效的抗真菌活性。

对接种非产毒黄曲霉CT3、K49菌株预防AF积累评估结果表明，在美国南部的玉米上AF的减少比例达到65%～94%[32]。Alaniz Zanon等[33]在阿根廷北部进行的一项为期两年的研究发现，非产毒黄曲霉对AF积累具有更高的生物防治效果（抑制率为78%～90%）。此外，在肯尼亚的研究也证明，非产毒黄曲霉分离株能将玉米中的AF污染降低80%以上。木霉菌属对抗植物病原真菌具有生物防治剂的潜力。哈茨木霉菌、绿木霉菌被证明具有很强的拮抗作用，能抑制黄曲霉菌丝生长、AF的产生，抑制率高于80%。在不同水分活度、pH值、温度和氧气供应条件下，酿酒酵母菌RC008和RC016具有抑制寄生曲霉生长和AFB_1产生能力。克鲁维酵母菌、异常毕赤酵母菌、麦芽糖假丝酵母菌分离株在与产AF的曲霉菌株相互作用时，也被证实对菌丝生长、分生孢子萌发或AF产生有影响[34]。此外，真菌漆酶、辣根过氧化物酶、锰过氧化物酶、黏菌AF降解酶、芽孢杆菌AF降解酶也在一定程度上显示出对AFB_1的降解活性。

5 结论

AF是一类特定的真菌毒素，主要由产毒的曲霉属产生，尤其是黄曲霉和寄生曲霉。它们是剧毒、致突变、致癌、免疫抑制的化合物，对奶牛生产性能、生理机能、瘤胃发酵和微生物以及繁殖能力产生负面影响。AF的降解方法包括物理、化学和生物3 种，其中，生物降解法备受关注，一些酵母菌、细菌和真菌能够通过分泌特殊酶，将AF转化为低毒或无毒物质。

参考文献

[1] Kumar P，Mahato D K，Kamle M，et al.Aflatoxins：A global concern for food safety，human health and their management[J].Frontiers in Microbiology，2017，7：2170.

[2] Pankaj S K，Shi H，Keener K M.A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food[J].Trends in Food Science & Technology，2018，71：73–83.

[3] Bozinou E，Athanasiadis V，Samanidis I，et al.Aflatoxin inactivation in Gamma–Ray–Irradiated Almonds[J].Applied Sciences，2024，14（24）：11985.

[4] Haso ň ov á L，Samkov á E，Bald í kov á E，et al.Occurrence and seasonal variation of aflatoxin M1 in raw cow milk in the Czech Republic，Central Europe[J].Food Control，2025，170：111028.

[5] 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.

[6] Gandra R J，Takiya S C，Valle D A T，et al.Impact of a biological anti–mycotoxin feed additive on aflatoxin milk transfer，performance，and biomarkers of liver and renal function in Jersey cows[J].Animal Feed Science and Technology，2025，319：116181.

[7] Horn B，Singh K，Frisvad J C，et al.An Illustrated Manual on Identification of Some Seed–Borne Aspergilli，Fusaria，and Penicillia and Their Mycotoxins[J].Mycologia，2023，85：139.

[8] 李建.科学解读黄曲霉菌和黄曲霉毒素[J].中国食品，2024（13）：140–141.

[9] Queiroz O，Han J，Staples C，et al.Effect of adding a mycotoxin–sequestering agent on milk aflatoxin M1 concentration and the performance and immune response of dairy cattle fed an aflatoxin B1–contaminated diet[J].Journal of Dairy Science，2012，95：5901–5908.

中国乳业线上阅读

[10] Ogunade I，Arriola K，Jiang Y，et al.Effects of 3 sequestering agents on milk aflatoxin M1 concentration and the performance and immune status of dairy cows fed diets artificially contaminated with aflatoxin B1[J].Journal of Dairy Science，2016，99：6263–6273.

[11] Harvey R B，Kubena L F，Phillips T D，et al.Diminution of aflatoxin toxicity to growing lambs by dietary supplementation with hydrated sodium calcium aluminosilicate[J].American Journal of Veterinary Research，2019，52：152–156.

[12] Edrington T S，Harvey R B，Kubena L F.Effect of aflatoxin in growing lambs fed ruminally degradable or escape protein sources[J].Journal of Animal Science and Technology，2021，72：1274–1281.

[13] Sulzberger S，Melnichenko S，Cardoso F.Effects of clay after an aflatoxin challenge on aflatoxin clearance，milk production，and metabolism of Holstein cows[J].Journal of Dairy Science，2017，100：1856–1869.

[14] Rodrigues R，Rodrigues R O，Ledoux D，et al.Feed additives containing sequestrant clay minerals and inactivated yeast reduce aflatoxin excretion in milk of dairy cows[J].Journal of Dairy Science，2019，102：6614–6623.

[15] Fern á ndez A，Hern á ndez M，Verde M T，et al.Effect of aflatoxin on performance，hematology，and clinical immunology in lambs. Can[J].Journal of Veterinary Research，2000，64：53–58.

[16] 索江华，张宸，连艳鲜，等.黄曲霉毒素对畜禽危害和脱毒方法的研究进展[J].中国饲料，2024（15）：143–149.

[17] Sinha R R P，Arora S P.Influence of different levels of aflatoxins on rumen fermentation（in vitro）[J].Journal of Nuclear Agriculture and Biology，2018，11：87–89.

[18] Westlake K，Mackie R，Dutton M.In vitro metabolism of mycotoxins by bacterial，protozoal and ovine ruminal fluid preparations[J].Animal Feed Science and Technology，1999，25：169–178.

[19] Jiang Y，Yang H，Lund P.Effect of aflatoxin B1 on in vitro ruminal fermentation of rations high in alfalfa hay or ryegrass hay[J].Animal Feed Science and Technology，2012，175：85–89.

[20] Komsky–Elbaz A，Saktsier M，Roth Z.Aflatoxin B1 impairs sperm quality and fertilization competence[J].Toxicology，2018，393：42–50.

[21] 徐博文，米俊宪，陈盼，等.霉菌毒素在反刍动物饲料中的危害及防控措施[J].饲料研究，2023，46（22）：151–155.

[22] 马美蓉，熊江林，傅春泉，等.奶牛饲料黄曲霉毒素B1污染及控制技术研究进展[J].家畜生态学报，2014，35（4）：79–82.

[23] Samarajeewa U，Sen A，Cohen M，et al. Detoxification of aflatoxins in foods and feeds by physical and chemical methods[J]. Journal of Food Protection，1990，53：489–501.

[24] Sipos P，Peles F，Brass ó D L，et al. Physical and chemical methods for reduction in aflatoxin content of feed and food[J]. Toxins，2021，13：204.

[25] Yin Y N，Yan L Y，Jiang J H，et al. Biological control of aflatoxin contamination of crops[J]. Journal of Zhejiang University Science，2008，9：787–792.

[26] Li H，Xiong Z，Gui D，et al. Effect of ozonation and UV irradiation on aflatoxin degradation of peanuts[J]. Journal of Food Processing and Preservation，2019，43（4）：e13914.

[27] Luo X，Wang R，Wang L，et al. Effect of ozone treatment on aflatoxin B1 and safety evaluation of ozonized corn[J]. Food Control，2014，37：171–176.

[28] Yang X，Zhang Q，Chen Z Y，et al. Investigation of Pseudomonas fluorescens strain 3JW1 on preventing and reducing aflatoxin contaminations in peanuts[J]. PLoS ONE，2017，12：e0178810.

[29] Mannaa M，Oh J Y，Kim K D. Microbe–mediated control of Aspergillus flavus in stored rice grains with a focus on aflatoxin inhibition and biodegradation[J]. Annals of Applied Biology，2017，171：376–392.

[30] Sultan Y，Magan N. Impact of a Streptomyces（AS1）strain and its metabolites on control of Aspergillus flavus and aflatoxin B1 contamination in vitro and in stored peanuts[J]. Biocontrol Science and Technology，2011，21：1437–1455.

[31] Shakeel Q，Lyu A，Zhang J，et al. Biocontrol of Aspergillus flavus on peanut kernels using Streptomyces yanglinensis 3–10[J]. Frontiers in Microbiology，2018，9：1049.

[32] Abbas H K，Zablotowicz R M，Bruns H A，et al. Biocontrol of aflatoxin in corn by inoculation with non–aflatoxigenic Aspergillus flavus isolates[J]. Biocontrol Science and Technology，2006，16：437–449.

[33] Alaniz Zanon M S，Barros G G，Chulze S N. Non–aflatoxigenic Aspergillus flavus as potential biocontrol agents to reduce aflatoxin contamination in peanuts harvested in Northern Argentina[J]. International Journal of Food Microbiology，2016，231：63–68.

[34] Ren X，Zhang Q，Zhang W，et al. Control of aflatoxigenic molds by antagonistic microorganisms：Inhibitory behaviors，bioactive compounds，related mechanisms，and influencing factors[J]. Toxins，2020，12（1）：24.

Research Progress on the Effects of Aflatoxin on Dairy Cow Production and its Degradation Methods

SONG Shanyou

下转61页

中国乳业线上阅读

Application of Near-infrared Analyzers in Detecting Nutritional Components of Fermented Corn Silage in Northeast China

LIU Caijuan，ZHANG Yongjiu，REN Liang，WANG Yongxin
Original Ecology Animal Husbandry Co.，Ltd.，Qiqihar Heilongjiang 161000

Abstract：[Objective] Corn silage is a silage with high annual demand in dairy farms in Northeast China. Rapid and accurate evaluation of its nutritional indexes provides strong data support for the formulation of precise feeding formulas. [Method] In this study，120 corn silage samples were selected as the calibration set，and 30 as the validation set. Based on the previously established prediction models for dry matter（DM）and starch of fermented corn silage in different sample states（wet base， dried and crushed），the database was further maintained. Meanwhile，near-infrared prediction models for crude protein（CP），neutral detergent fiber（NDF），and acid detergent fiber（ADF）of fermented corn silage in different sample states were established for the daily nutritional detection of fermented corn silage in dairy farms in Northeast China. [Result]（1）The established prediction models for CP，NDF，and ADF of fermented corn silage in different sample states could all predict the nutrition of fermented corn silage，and the actual prediction effect of CP was better than that of other nutritional indexes.（2）The prediction model for nutritional components of fermented corn silage after drying and crushing had better actual prediction effect than that of wet-based fermented corn silage.The NDF prediction model for wet-based fermented corn silage needed further data collection and optimization. [Conclusion] The near-infrared prediction models for CP，NDF，and ADF of fermented corn silage established in this study can be applied to the practical prediction of daily fermented corn silage in dairy farms in Northeast China，and the prediction model for dried and crushed samples is more effective.

Keywords：Northeast China；dairy farms；fermented corn silage；Near-Infrared Analyzer；nutritional components；application examples

▲上接56页

Xinji Animal Husbandry and Veterinary Station，Yinan Shandong 276300

Abstract：Aflatoxins（AF）are secondary metabolites produced by fungi such as Aspergillus flavus and Aspergillus parasiticus. Under favorable conditions，they can contaminate food and animal feed，posing health risks to both humans and animals. Dairy cows exposed to aflatoxin B_1（AFB_1）excrete its metabolite aflatoxin M_1（AFM_1）into milk，compromising milk safety. This review systematically summarized the effects of AF on dairy cow production performance，rumen fermentation，and reproductive function，and outlines recent advances in the physical，chemical，and biological methods for aflatoxin degradation. The aim is to provide a theoretical basis for preventing and controlling the risks of AF in dairy production.

Keywords：aflatoxin（AF）；cow；production performance；reproduction；degradation

中国乳业线上阅读