DOI:10.12441/spyswjs.20240831001 [文章编号] 1673-1689(2025)09-0023-10

食用油中黄曲霉毒素降解技术的研究进展

李慧帅 李振宁 谢 宇 邹云锋 李少军*

(广西医科大学公共卫生学院,广西 南宁 530021)

摘要:黄曲霉毒素(aflatoxin,AF)是一类长期影响食用油安全的重要污染物,长期低剂量或短期大量摄入均会对人体健康产生危害。但目前仍无法完全去除食用油中的AF,因此,探究降低食用油中AF含量的方法具有重要意义。作者综述了食用油中AF的降解方法,主要包括高温处理、射线辐照、吸附脱毒等物理方法,氨气熏蒸、臭氧氧化等化学方法,以及微生物降解等生物方法,分析讨论了各种降解方法的原理、优点、不足及安全性,并对AF降解技术的发展趋势进行了展望。

关键词:食用油;黄曲霉毒素;生物降解;化学降解;物理降解

Research Progress in Aflatoxin Degradation Technologies for Edible Oils

*LI Huishuai LI Zhenning XIE Yu ZOU Yunfeng LI Shaojun**

(School of Public Health, Guangxi Medical University, Nanning 530021, China)

Abstract: Aflatoxin (AF), a notorious contaminant, has been a persistent challenge to the safety of edible oils. Prolonged exposure to low doses or acute consumption of high amounts of AF may induce serious health issues. Currently, no method can completely eliminate AF from edible oils. Therefore, it is crucial to explore strategies for reducing AF levels in edible oils. The measures to degrade AF from edible oils were reviewed, mainly including physical methods (such as high-temperature treatment, ray irradiation, and adsorption), chemical methods (such as ammonia fumigation and ozone oxidation), and biological methods (such as microbial degradation). In addition, this paper analyzed and discussed the principles, advantages, shortcomings, and safety of various degradation methods. Furthermore, it made an outlook on the development trend of AF degradation technology.

Keywords: edible oil; aflatoxin; biological degradation; chemical degradation; physical degradation

食用油是指食品制作过程中使用的动物脂肪或植物油,该研究讨论的食用油主要指常温下为液态的植物油。常见的食用油包括菜籽油、花生油、玉米油、橄榄油、大豆油、棕榈油、芝麻油、亚麻籽油等[1-2],其原料为相应植物的果实、种子或胚芽。AF是黄曲霉和寄生曲霉产生的一类代谢产物[3-4],基本结构为二呋喃环和氧杂萘邻酮。根据AF荧光颜色与结构的不同,可分为B族(AFB_1、AFB_2)、G族(AFG_1、AFG_2)和M族(AFM_1、AFM_2)[5-6]。AF的毒性与其结构密切相关,凡二呋喃环末端含双键者,毒性较强且具有致癌性。AF的毒性顺序为:AFB_1>AFM_1>AFG_1>AFB_2>AFM_2[7-8]。

AF是我国粮食和饲料中常见的真菌毒素[9],主要污染粮油及其制品[10-11],其中玉米、花生和棉籽油受污染情况最严重,其次是稻谷、小麦、大麦、豆类[12-13]。在粮油食品中,AFB_1污染最多[14]。人类可通过直接摄入被AF污染的食物,或间接摄入被AF污染的饲料喂养的牲畜所产的牛奶、鸡蛋等

基金项目:广西重点研发计划项目(桂科AB23026100)。

通信作者:李少军(1987—),女,博士,副研究员,硕士研究生导师,主要从事环境毒理学、神经毒理学研究。E-mail:lishaojun0613@163.com

收稿日期:2024-08-31 **修回日期:**2024-10-26

途径接触AF[15]。AF对肝脏具有特殊亲和力，可产生肝毒性，促进肝炎病毒感染者发展为肝癌[16]。此外，AF还可导致免疫系统[17]、生殖系统[18]、神经系统[19]损伤。AFB_1因对人类和动物具有强急性毒性、致癌性、致畸性和致突变性，被国际癌症研究机构认定为I类致癌物[20]。因此，食品卫生监测中常以AFB_1作为AF污染指标。我国主要粮油食品中AFB_1限量标准为：玉米、玉米油、花生、花生油不得超过20 μg/kg；大米、其他食用油不得超过10 μg/kg[21]。欧盟规定：除玉米和大米外，所有谷物中总AF（AFB_1+AFB_2+AFG_1+AFG_2）质量分数不得超过4 μg/kg，AFB_1质量分数不得超过2 μg/kg[22-23]。而美国食品药品监督管理局将花生中总AF的最高限量调整为20 μg/kg[24]。

控制食用油中AF含量可分为预防与降解2个方面。预防是指在毛油提取前控制污染，包括选择抗真菌作物品种、做好田间管理、收获后处理等。因油料作物品种选择及田间管理不在作者专业讨论范围内，故不展开论述。收获后处理包括及时通风干燥、清理去石、筛除霉粒等。此外，油料在进入榨油机或浸出设备前，通常还需进行脱壳破碎、蒸炒调质等预处理[25]。这些措施可从源头上控制食用油中AF含量，但无法确保油料中的AF被彻底清除，此时降解技术的重要性便得以显现。降解措施主要针对被污染的油料及成品油，可分为物理降解技术、化学降解技术和生物降解技术。通过射线辐照、氧化水解等方式作用于AF的化学毒性位点，可降低食用油中AF的含量或毒性。因此，作者对食用油中AF降解技术进行了简要综述，并对其发展趋势进行了展望。

1 物理降解法

物理降解法主要是利用温度（热处理）、射线（紫外线、微波、γ射线、电子束）辐照或吸附技术，去除产AF的真菌或降低已生成AF的含量，从而达到降低食用油中AF含量及毒性的目的。

1.1 热处理降解法

AF具有较强的耐热性，通常家庭使用的烹调加工温度不足以将其破坏[26]，需达到280 ℃才会发生裂解。产毒真菌的生长与温度和相对湿度密切相关[27]。有研究测试了黄曲霉和寄生曲霉在不同水分活度（0.82、0.86、0.90、0.94、0.98）和孵育温度（20、27、35 ℃）下对亚麻籽中AF的影响，发现在20、27、35 ℃下，2种真菌均无法在水分活度为0.82的基质上生长[28]。这表明油料作物收获后若及时干燥至安全水分活度，或调整贮藏温度，可有效抑制AF的产生。尽管高温处理易导致油脂氧化，但因其能有效降解油料中的AF而得以广泛应用。Wang等[29]研究发现，过热蒸汽（215 ℃）处理1 min，可使磨碎花生中的AF降低77.6%，AFB_1降低75.7%。Pukkasorn等[30]研究发现，蒸汽处理（350 ℃和400 ℃）可有效降解花生仁中的AF，最佳处理时间为40 s；400 ℃降解AF的效果优于350 ℃，且随着处理时间的延长，AF降解率逐渐升高。

热处理降解法操作简便、AF降解率高且无残留，但能耗大，且高温处理可能破坏食品中的营养成分，降低其营养价值[31]。

1.2 射线辐照降解法

1.2.1 紫外线辐照法

紫外线辐照可破坏真菌的DNA或RNA结构，导致真菌丧失生长或再生能力[32]，从而抑制毒素的产生。王洪健等[33]研究发现，固定花生油液面高度时，紫外灯波长为254 nm且距离花生油液面1 cm时，AF降解率最高；固定紫外灯与花生油的距离时，在一定时间范围内随着辐照时间的延长，花生油中的AFB_1含量逐渐降低。另一研究结果显示，玉米和花生经31 W短波紫外线（UVC）辐照后，AFB_1降解率分别为43.2%和50.8%；而使用12 W UVC辐照后，AFB_1降解率低于20%[34]。这表明AF降解率与紫外线辐照强度呈正相关。紫外线辐照可有效去除花生油中的AF，但需注意，普通灯源的紫外线辐照可能会产生高温效应，从而对花生油的品质产生影响。郑娟梅等[35]和Wang等[36]的研究均发现，紫外LED冷光技术降解花生油中AFB_1的效果显著，且对花生油中脂肪酸水平、酸价、过氧化值等指标无显著影响，表明该方法对花生油的品质影响较小。

紫外线辐照法脱毒效率较高、技术难度低，在小型油坊中广泛应用。然而，紫外线对固体材料的穿透力有限，且使用时应控制辐照时间，避免食用油过氧化值超标[37]，进而带来新的安全隐患。

1.2.2 微波辐照法

微波辐照法降解AF的原理为：目标物质吸收

微波能量后，其内部水分子发生剧烈摩擦与碰撞，导致分子结构与膜电位改变、蛋白质变性，进而降低AFB_1的毒性[38]。郝琴等[39]研究发现，微波辐照温度、时间与花生中AFB_1降解率呈正相关，且微波处理后的花生油符合国家相关标准，营养损失较少。此外，微波加热所用基质的湿度对AFB_1的降解也有潜在影响，水的存在有助于AF内酯环的打开，降低AF分解所需温度。Zhang等[40]研究发现，将含有AFB_1的玉米粒浸入水中后再进行微波处理，可使玉米在降解AFB_1过程中保持较低温度，降低微波对玉米品质的损害，且能显著提高AFB_1降解率。

与热处理降解法相比，微波辐照法降解速度更快、效率更高、耗能更低[41]。但因微波能量集中在食物中的水分子上，微波处理可能存在加热不均匀的问题[42]。

1.2.3 γ射线辐照法

γ射线通过辐照分解产生的自由基攻击AFB_1的末端呋喃环，使其失去毒性[31]。Makari等[43]研究发现，利用γ射线辐照样品时，AFB_1降解率随γ射线辐照剂量的增加而升高。Markov等[44]对自然污染的玉米样品进行γ射线辐照，发现10 kGy γ射线辐照样品的AFB_1降解率（94.5%）高于5 kGy辐照组（69.8%），表明AFB_1降解率与γ射线辐照剂量密切相关。Zhang等[45]研究发现，10 kGy γ射线辐照可完全杀灭中度真菌污染大豆中的真菌，并大幅降低其中的AFB_1含量；当γ射线辐照剂量小于20 kGy时，大豆油品质无明显变化。

γ射线辐照法能高效降解AF，但当食品中维生素和脂质含量较高时，由于这些成分更容易被自由基氧化，进而降低食品品质，因此需严格控制γ射线辐照剂量[46]。

1.2.4 电子束辐照法

电子束辐照法是利用加速器产生的高能电子束，直接或间接与目标物质发生反应，以达到脱毒目的[47]。杨静[48]研究发现，在同等剂量辐照条件下，电子束辐照法对花生和玉米中AF的脱毒效果优于γ射线辐照法，且脱毒效率随着辐照剂量的增加而提高，但需关注其对食品品质的影响[46]。罗小虎等[49]研究发现，当电子束辐照剂量为50 kGy时，玉米中AFB_1降解率高于90%，但其理化性质发生较明显变化，尤其是脂肪酸值显著升高。

电子束辐照法具有处理时间短、可在线处理、安全方便、成本比γ射线辐照法低等优势[23,50]，且对食品的处理效果与γ射线辐照法相似，但在穿透力和应用方法方面存在差异[51]。另外，电子束辐照过程产生的电子可促使食物氧化，改变食品的感官品质。但总体而言，电子束辐照法具有较为广阔的应用前景[52]。

1.3 吸附脱毒法

吸附脱毒是利用吸附剂将有毒物质吸附于其表面，从而降低有毒物质浓度的技术。蒙脱石是真菌毒素吸附剂中研究较广泛的一种，但天然蒙脱石在实际应用中存在效率低、选择性差等问题[53]。为克服这一缺陷，研究者通过酸活化改性[54]、无机盐离子改性[55]、有机改性[56]等方法，提高了蒙脱石对AFB_1的吸附性能。马文文等[57]利用十八烷基三甲基氯化铵对钠基蒙脱土进行改性，确定了AFB_1的最佳吸附脱毒工艺，使花生油中AFB_1脱毒率提升至84.69%。花生油经吸附脱毒后，亮度值增加，酸价、过氧化值随温度升高略有上升；贮藏3个月后再次测量，发现花生油的酸价和过氧化值均未超过国家限量标准[58]。

改性蒙脱土不仅能高效吸附AFB_1，且对花生油的综合品质影响较小，安全可靠，适合在油脂行业推广应用[59]。但吸附剂在吸附有毒物质的同时，也会导致油脂中的微量元素发生不同程度损失，进而降低油脂营养品质。

2 化学降解法

化学降解法主要是通过碱处理、氧化处理、光催化处理等方法与AF发生化学反应，改变其分子结构或功能基团，进而降低或消除AF毒性。

2.1 碱处理降解法

碱性条件可通过使AF的内酯环开环破坏其分子结构，从而降低其毒性[60]。张春华等[61]使用pH为8~9的碱液处理花生原料，使成品花生油中AFB_1质量分数从10.4 μg/kg降至4.5 μg/kg。杨威等[62]使用pH为13.4的碱液浸泡四级花生15 min，使成品花生油中AFB_1脱除率达90%以上。另有研究表明，选择质量分数为10.0%（以花生坯计）的碱液处理花生坯，可使其成品花生油中AFB_1脱除率达90.7%[63]。Thakaew等[64]在50 ℃条件下对低等级玉米喷洒5 g/dL的NaOH溶液并处理24 h，发

现 AFB_1 含量降低了 60.35%。赵国斌[65]研究发现，在 40 ℃用体积分数 10% 的氨气熏蒸花生 96 h，AFB_1 降解率最高达 95.06%，降解效果显著。然而，碱处理不具备特异性，易与食品中其他成分发生反应，进而影响食品品质[66]。

2.2 氧化处理降解法

臭氧具有很强的氧化性，可有效破坏 AF 分子中呋喃环的双键，进而降低其毒性[67]。宋慧玲[67]研究发现，用 81 mg/kg 的臭氧处理 428 g 玉米 24 min 后，玉米中 AFB_1 降解率达 70.24%。刘玉兰等[68]研究发现，用 150 mg/L 的臭氧熏蒸玉米胚 80 min，可使玉米胚中 AFB_1 降解率达到 72.27%。李超[69]通过调整臭氧的输送速率（1.4 L/min）和处理时间（40 min），使 AFB_1 降解率最高达 82.43%。臭氧对谷物中 AFB_1 的降解效果受臭氧浓度、处理时间及谷物量等因素影响。在一定范围内，食物中 AFB_1 降解率与臭氧处理浓度和处理时间呈正相关[70]。总体而言，臭氧是一种较安全的氧化处理方法，在有效降解真菌毒素时的臭氧浓度和处理时间范围内，对食物品质影响较小[69]。然而，臭氧处理时的浓度至关重要，应避免高浓度臭氧与油脂发生反应而造成二次污染[71]。

2.3 光催化处理降解法

当前，纳米材料光催化降解真菌毒素技术在食品领域受到了广泛关注。光催化技术利用半导体材料，在温和条件下通过光子能量降解 AFB_1[72]。TiO_2 作为光催化材料，在消除有机物污染方面具有极大应用价值[73]。但纳米半导体 TiO_2 的光催化利用效率仍不够理想，通过金属掺杂、金属与非金属共同掺杂、复合半导体等改性方法，可提高其光催化效率[73-75]。徐程鹏等[76]利用自制的光催化反应器，在煅烧温度 400 ℃、光照强度 26 μmol/(m^2·s)、循环速度 800 mL/min、反应时间 120 min 的条件下，花生油中 AFB_1 降解率达 73.02%，且处理后的花生油过氧化值和酸价均符合国家标准。崔晓雷[74]通过掺碘来修饰 TiO_2，当 KIO_3 浓度为 0.1 mol/L、pH 为 3、循环速度为 800 mL/min 时，TiO_2 光催化 AFB_1 的降解率达 81.96%。李佳骏[21]研究发现，光催化降解 AFB_1 后的产物毒性大幅降低，安全性较高。因此，利用光催化技术降解油脂中的 AFB_1 具有广阔的应用前景[72]。值得注意的是，油脂中的不饱和脂肪酸、维生素 E 等物质会与 AFB_1 竞争光催化反应的活性物质，导致活性物质损失，进而降低光催化降解效率，同时还会影响油脂的营养价值[77]。目前，关于 TiO_2 及改性后 TiO_2 材料的降解产物特性、光催化处理后及经过一定贮藏期的食用油品质与安全性研究，仍有待进一步开展。

3 生物降解法

生物降解法主要是利用微生物酶降解、转化或吸附毒素，或利用微生物菌株间的相互抑制作用，进而降低真菌毒素污染的方法，是当前真菌毒素降解的研究热点[66-78]。这种方法一般应用于副产品粕类物质（如花生粕）。

3.1 微生物降解法

王晓玲等[79]从霉变花生粕中筛选出能高效降解 AFB_1 的菌株，经鉴定该菌株为枯草芽孢杆菌，随后利用生物偶联工艺处理花生粕，发现 AFB_1 脱除率达 90% 以上，且显著改善了花生粕品质。此外，黑曲霉菌株同样具备降解 AF 的能力，邱天宇等[80]利用响应面法优化了黑曲霉菌株培养条件，发现在最佳发酵条件下，黑曲霉可使花生粕中 AFB_1 脱除率达 95.01%，总 AF 脱除率达 72.90%。徐铭乾等[81]从霉变花生中分离出的解淀粉芽孢杆菌，对花生粕中 AFB_1 降解率达 80% 以上。张婉[82]发现了一株既可高效吸附又可快速降解 AF 的季也蒙毕赤酵母，且利用其发酵花生粕后，花生粕的外观及品质无明显变化。微生物法降解 AF 具有显著的应用潜力和发展前景。然而，微生物吸附毒素的过程具有可逆性，随着时间的延长，与微生物吸附不紧密的毒素会逐渐脱离，导致吸附效率降低[83]。

3.2 微生物酶降解法

漆酶是一种含铜氧化酶，广泛存在于细菌、真菌、植物和昆虫中，其中真菌漆酶的研究最为深入[84]。曹玲等[85]确定了漆酶降解花生粕中 AFB_1 所需的最优漆酶量、pH、时间、温度及料液比，在最优条件下，漆酶对花生粕中 AFB_1 的降解率高达 83.5%，其残留量符合国家限量标准。刘英丽等[86]研究发现，AF 降解率随漆酶活力的增加而逐渐升高。当酶活力为 3 U 时，AFB_1 降解率达到峰值（74.87%）；继续提高酶活力，降解率不再增长。熊东炜[87]研究发现，解淀粉芽孢杆菌 B10 中含有一种可降解 AF 的新型漆酶，且在 40 ℃、pH 6.5 的条

件下，该漆酶降解AFB_1的效率较高。作为绿色催化剂，漆酶在未来有望得到更广泛的应用。但酶类物质不易保存，随着时间的延长易钝化失活[83]，且降解酶的应用安全性有待进一步验证[88]。因此，人们利用基因工程技术克隆酶活力较高的解毒酶基因，实现其在原核或真核工程菌中的异源高效表达[89]，进而提高AF的生物降解率。然而，降解酶基因序列的筛选过程复杂且存在不确定性，因此目前国内外关于基因工程技术在AF降解中的研究仍较少。

4 AF降解技术对比

AF污染是食品工业面临的重要挑战之一，开发高效安全的AF降解技术已成为当前科研工作者的研究重点。目前，食用油中降解AF最常用的思路是通过破坏其结构将AF转化为毒性较小的衍生物，或通过将其吸附到固体表面以降低其生物利用率。尽管当前降解AF的方法众多，但尚未找出一种能完美解决AF污染问题的技术。

AF物理降解技术具有操作简单、无化学试剂残留、不易产生中间产物等优势，但存在降解效果有限、成本较高、难以实现工业化大规模应用的问题。与物理降解技术相比，化学降解技术的降解效率更高，但易引入新的化学残留，且可能破坏食用油的营养成分，甚至引发食品安全问题。生物降解技术具有绿色环保、反应条件温和、不易造成食用油营养大量损失的优点，但该技术使用的降解毒素菌株需要经过培养、筛选、纯化等一系列烦琐步骤，且降解毒素的酶性质不稳定，目前暂时无法大规模应用。综上所述，现有的降解技术虽无法完全去除食用油中的AF，但可将其含量降至可接受水平。此外，在运用各种技术降低食用油中AF含量的同时，也应关注降解后食用油的品质与安全性，见表1。

表1 不同AF降解技术对食用油品质与安全性的影响

Table 1 Effects of different AF degradation technologies on the quality and safety of edible oils

降解方法		基质	品质变化	毒理学试验	参考文献
物理降解法	紫外线辐照法	花生油	亮度值、过氧化值升高，油酸、亚油酸、亚麻酸含量降低	Ames试验阴性，HepG2细胞毒性降低	[90-91]
	微波辐照法、γ射线辐照法	花生油	碘值、过氧化值、反式脂肪酸水平均未发生显著变化	Ames试验阴性	[92]
	电子束辐照法	花生粕	总黄酮、棕榈酸、亚油酸、油酸含量稍有增加，花生酸含量降低	Ames试验阴性，HepG2细胞毒性大幅降低	[93]
	吸附脱毒法（蒙脱土有机改性）	花生油	亮度值、过氧化值升高，酸值降低，不饱和脂肪酸无明显变化	Ames试验阴性，HepG2细胞毒性显著降低	[58]
化学降解法	碱处理降解法	花生油	亮度值显著升高，酸值降低，过氧化值升高，不饱和脂肪酸含量无显著变化	Ames试验无致突变性，HepG2细胞毒性显著降低	[91-94]
	氧化处理降解法	花生	酸值、过氧化值显著升高	Ames试验致突变性减弱	[60]
	光催化处理降解法	花生油	脂肪酸水平、过氧化物值、酸值、游离脂肪酸水平、碘值等无明显变化	—	[95]
生物降解法	微生物降解法	—	—	对细胞无致突变性，无毒性	[96]
	微生物酶降解法	—	—	Ames试验致突变性减弱，HepG2细胞毒性显著降低	[97]

注：“—”表示未提及。

5 展望

尽管目前部分黄曲霉毒素降解方法仍处于试验探索阶段，但这些研究对食品行业，尤其是粮油领域具有重要意义。一旦这些研究取得突破，并在粮油行业的加工、贮存等环节大规模应用，将显著降低黄曲霉毒素带来的经济损失及对人体健康的危害。未来，黄曲霉毒素降解技术的研究将聚焦于3个方面：一是结合2种或2种以上降解技术；二是发展光催化等新兴技术；三是利用基因工程筛选高效降解酶。

参考文献

[1] 春梅. 科学选择食用油[J]. 绿化与生活，2011(7)：54.

CHUN M. Choosing cooking oils wisely[J]. Greening and Life,2011(7):54.(in Chinese)

[2] XIANG F, DING C X, WANG M, et al. Vegetable oils: classification, quality analysis, nutritional value and lipidomics applications[J]. Food Chemistry, 2024, 439: 138059.

[3] EL DARRA N, GRIMI N, WATSON I A, et al. Editorial: risk assessment of mycotoxins in food[J]. Frontiers in Nutrition,2023,10:1145998.

[4] MARSHALL H, MENEELY J P, QUINN B, et al. Novel decontamination approaches and their potential application for post-harvest aflatoxin control[J]. Trends in Food Science & Technology,2020,106:489-496.

[5] YANG L Y, WANG Z L. Advances in the total synthesis of aflatoxins[J]. Frontiers in Chemistry,2021,9:779765.

[6] PENG Z, CHEN L K, ZHU Y L, et al. Current major degradation methods for aflatoxins: a review[J]. Trends in Food Science & Technology,2018,80:155-166.

[7] 伊秀娟. 食品中黄曲霉毒素类检测方法和降解产物的研究[D]. 烟台:烟台大学,2020.

[8] TAHIR N I, HUSSAIN S, JAVED M, et al. Nature of aflatoxins: their extraction, analysis, and control[J]. Journal of Food Safety,2018,38(6):e12561.

[9] 刘建高,厉学武,彭哲,等. 2021年我国饲料原料中常见霉菌毒素污染情况调查[J]. 中国家禽,2023,45(10):70-75.
LIU J G, LI X W, PENG Z, et al. Investigation of common mycotoxins contamination in feed ingredients in China in 2021[J]. China Poultry, 2023, 45(10): 70-75.(in Chinese)

[10] SEETHA A, MUNTHALI W, MSERE H W, et al. Occurrence of aflatoxins and its management in diverse cropping systems of central Tanzania[J]. Mycotoxin Research,2017,33(4):323-331.

[11] 尹玉云,陶健,焦强,等. 用于黄曲霉毒素B_1快速检测的胶体金试剂盒质量评价[J]. 食品与生物技术学报,2024,43(5):130-137.
YIN Y Y, TAO J, JIAO Q, et al. Quality evaluation of colloidal gold kits for rapid detection of aflatoxin B_1[J]. Journal of Food Science and Biotechnology,2024,43(5):130-137.(in Chinese)

[12] SSERUMAGA J P, WAGACHA J M, BIRUMA M, et al. Contamination of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) with *Aspergillus* section *Flavi* communities and aflatoxin at the post-harvest stage[J]. Food Control,2021,128:108150.

[13] KAALE L D, KIMANYA M E, MACHA I J, et al. Aflatoxin contamination and recommendations to improve its control:a review[J]. World Mycotoxin Journal,2021, 14(1):27-40.

[14] 纪俊敏,吕雅芳,张岩,等. 食用植物油中常见真菌毒素及其脱除方法[J]. 粮油食品科技,2021,29(2):50-58.
JI J M, LV Y F, ZHANG Y, et al. Primary mycotoxins in edible vegetable oils and their removal methods[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(2):50-58.(in Chinese)

[15] GRACE D, MAHUKU G, HOFFMANN V, et al. International agricultural research to reduce food risks: case studies on aflatoxins[J]. Food Security,2015,7(3):569-582.

[16] ZHU Q, MA Y R, LIANG J B, et al. AHR mediates the aflatoxin B_1 toxicity associated with hepatocellular carcinoma [J]. Signal Transduction and Targeted Therapy,2021,6:299.

[17] TURNA N S, COMSTOCK S S, GANGUR V, et al. Effects of aflatoxin on the immune system: evidence from human and mammalian animal research[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2024, 64(27): 9955-9973.

[18] ZHANG F L, MA H H, DONG P Y, et al. Aflatoxin B_1 disrupts testicular development *via* the cell cycle-related Ras/PI3K/Akt signaling in mice and pig [J]. Environmental Pollution,2023,329:121729.

[19] MAHFUZ M, HOSSAIN M S, ALAM M A, et al. Chronic aflatoxin exposure and cognitive and language development in young children of Bangladesh: a longitudinal study[J]. Toxins,2022,14(12):855.

[20] OSTRY V, MALIR F, TOMAN J, et al. Mycotoxins as human carcinogens: the IARC Monographs classification [J]. Mycotoxin Research,2017,33(1):65-73.

[21] 李佳骏. 适配体介导光催化对黄曲霉毒素B_1靶向降解作用研究[D]. 郑州:河南工业大学,2023.

[22] PENG Z K, ZHANG Y, AI Z P, et al. Current physical techniques for the degradation of aflatoxins in food and feed: safety evaluation methods, degradation mechanisms and products[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,2023,22(5):4030-4052.

[23] GUO Y P, ZHAO L H, MA Q G, et al. Novel strategies for degradation of aflatoxins in food and feed: a review [J]. Food Research International,2021,140:109878.

[24] JAVANMARDI F, KHODAEI D, SHEIDAEI Z, et al. Decontamination of aflatoxins in edible oils: a comprehensive review[J]. Food Reviews International, 2022,38(7):1410-1426.

[25] 朱家彬,李研财,苏彩虹,等. 油料预处理对油脂品质影响的研究进展[J]. 中国油脂,2023,48(10):16-24.
ZHU J B, LI Y C, SU C H, et al. Research progress on

effects of oilseeds pretreatment on oil quality[J]. China Oils and Fats,2023,48(10):16-24.(in Chinese)

[26] YAMADA M, HATSUTA K, NIIKAWA M, et al. Detoxification of aflatoxin B_1 contaminated maize using human CYP3A4 [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology,2020,30(8):1207-1213.

[27] PALACIOS H A, STEFANELLO A, GARCÍA GAVILÁNEZ M S, et al. Relationship between the fungal incidence, water activity, humidity, and aflatoxin content in maize samples from the Highlands and coast of Ecuador[J]. Toxins,2022,14(3):196.

[28] CHANG C H. Influence of temperature, water activity, and oil content on growth and aflatoxin production on oil seeds by *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus* [D]. West Lafayette:Purdue University,2020.

[29] WANG H R, WANG L J, WANG L B, et al. Quality improvement of grounded peanut using superheated steam treatment by the inhibition of microorganisms, lipase, and aflatoxin[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022,46(9):e16517.

[30] PUKKASORN P, RATPHITAGSANTI W, HARUTHAITANASAN V. Effect of ultra-superheated steam on aflatoxin reduction and roasted peanut properties [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(8):2935-2941.

[31] 魏东升,翟新军,陈磊,等. 食品物理加工技术在黄曲霉毒素B_1控制中的应用[J]. 粮食与油脂,2023,36(10):11-18.
WEI D S,ZHAI X J,CHEN L,et al. Application of food physical processing technology in aflatoxin B_1 control[J]. Cereals & Oils,2023,36(10):11-18.(in Chinese)

[32] 曹小兵,陈磊,冉崇高,等. 紫外线杀菌产品在消毒杀菌领域的应用研究[J]. 中国照明电器,2020(4):6-10.
CAO X B,CHEN L,RAN C G,et al. Research on the application of ultraviolet germicidal products in the disinfection and sterilization field[J]. China Light & Lighting,2020(4):6-10.(in Chinese)

[33] 王洪健,马静瑜,蔡双福,等. 紫外处理对黄曲霉毒素B_1及花生油品质的影响[J]. 食品研究与开发,2018,39(15):187-190,224.
WANG H J,MA J Y,CAI S F,et al. Effects of ultraviolet treatment on aflatoxin B_1 and the quality of peanut oil[J]. Food Research and Development,2018,39(15):187-190,224.(in Chinese)

[34] UDOVICKI B, STANKOVIC S, TOMIC N, et al. Evaluation of ultraviolet irradiation effects on *Aspergillus flavus* and aflatoxin B_1 in maize and peanut using innovative vibrating decontamination equipment [J]. Food Control,2022,134:108691.

[35] 郑娟梅,王海波,李昌宝,等. 紫外LED冷光降解黄曲霉毒素B_1技术对花生油品质影响的研究[J]. 食品安全质量检测学报,2020,11(8):2410-2420.
ZHENG J M,WANG H B,LI C B,et al. Study on the influence of peanut oil quality by ultraviolet LED cold light technology degradation of aflatoxin B_1[J]. Journal of Food Safety & Quality,2020,11(8):2410-2420.(in Chinese)

[36] WANG H B,MO Z M,YUAN G W,et al. Degradation of aflatoxin B_1 in peanut oil by ultraviolet-LED cold-light irradiation and structure elucidation of the degradation products[J]. Journal of Oleo Science,2023,72(4):473-480.

[37] 栗凌云,吴瑞阁,武建锋,等. 紫外照射条件及花生油的铺展厚度对花生油中黄曲霉毒素B_1含量的影响[J]. 食品安全导刊,2022(4):83-85.
LI L Y,WU R G,WU J F,et al. Effects of UV irradiation conditions and the spreading thickness of peanut oil on peanut oil effects of aflatoxin B_1 content[J]. China Food Safety Magazine,2022(4):83-85.(in Chinese)

[38] GUO Q S,SUN D W,CHENG J H,et al. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017,67:236-247.

[39] 郝琴,刘佳杰,万楚筠,等. 微波对花生黄曲霉毒素B_1的消减作用及压榨花生油品质的影响[J]. 粮食与油脂,2023,36(10):72-77.
HAO Q,LIU J J,WAN C Y,et al. Effect of microwave on the reduction of aflatoxin B_1 in peanuts and the quality of pressed peanut oil[J]. Cereals & Oils,2023,36(10):72-77.(in Chinese)

[40] ZHANG Y L,LI M M,LIU Y X,et al. Reduction of aflatoxin B_1 in corn by water-assisted microwaves treatment and its effects on corn quality[J]. Toxins, 2020,12(9):605.

[41] LI M G,ZHOU C S,WANG B,et al. Research progress and application of ultrasonic- and microwave-assisted food processing technology[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,2023,22(5):3707-3731.

[42] 张耀磊,李萌萌,关二旗,等. 微波降解黄曲霉毒素B_1研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2020,41(5):129-136.
ZHANG Y L,LI M M,GUAN E Q,et al. Progress in the degradation of aflatoxin B_1 by microwave[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science

Edition)，2020，41(5)：129-136.(in Chinese)

[43] MAKARI M，HOJJATI M，SHAHBAZI S，et al. Effect of Co-60 gamma irradiation on *Aspergillus flavus*，aflatoxin B_1 and qualitative characteristics of pistachio nuts (*Pistacia vera* L.)[J]. Journal of Food Measurement and Characterization，2021，15(6)：5256-5265.

[44] MARKOV K，MIHALJEVIĆ B，DOMIJAN A M，et al. Inactivation of aflatoxigenic fungi and the reduction of aflatoxin B_1 *in vitro* and *in situ* using gamma irradiation [J]. Food Control，2015，54：79-85.

[45] ZHANG Z S，XIE Q F，CHE L M. Effects of gamma irradiation on aflatoxin B_1 levels in soybean and on the properties of soybean and soybean oil[J]. Applied Radiation and Isotopes，2018，139：224-230.

[46] CALADO T，VENÂNCIO A，ABRUNHOSA L. Irradiation for mold and mycotoxin control：a review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety，2014，13(5)：1049-1061.

[47] 李国林，陈曦，陈梦玉，等. 不同类型辐照处理对黄曲霉毒素脱除效果分析[J]. 核农学报，2015，29(11)：2165-2171.
LI G L，CHEN X，CHEN M Y，et al. Effect analysis of aflatoxin contamination removal by different irradiation types[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences，2015，29(11)：2165-2171.(in Chinese)

[48] 杨静. 农产品中真菌毒素污染辐射降解效应研究[D]. 北京：中国农业科学院，2009.

[49] 罗小虎，齐丽君，房文苗，等. 电子束辐照降解玉米中黄曲霉毒素 B_1 及对玉米品质的影响[J]. 食品与机械，2016，32(10)：111-114，193.
LUO X H，QI L J，FANG W M，et al. Effects of electron beam irradiation on the degradation of aflatoxins and the physicochemical properties of corn[J]. Food & Machinery，2016，32(10)：111-114，193.(in Chinese)

[50] LIU R J，LU M Y，WANG R Q，et al. Degradation of aflatoxin B_1 in peanut meal by electron beam irradiation [J]. International Journal of Food Properties，2018，21(1)：892-901.

[51] ASSUNÇÃO E，REIS T A，BAQUIÃO A C，et al. Effects of gamma and electron beam radiation on Brazil nuts artificially inoculated with *Aspergillus flavus*[J]. Journal of Food Protection，2015，78(7)：1397-1401.

[52] KHANEGHAH A M，MOOSAVI M H，OLIVEIRA C A F，et al. Electron beam irradiation to reduce the mycotoxin and microbial contaminations of cereal-based products：an overview[J]. Food and Chemical Toxicology，2020，143：111557.

[53] 韩露露，程玲，杨祥龙，等. 改性蒙脱石消减黄曲霉毒素 B_1 的研究进展[J]. 现代食品科技，2022，38(1)：11-20.
HAN L L，CHENG L，YANG X L，et al. Research progress in adsorptive removal of aflatoxin B_1 by modified montmorillonite[J]. Modern Food Science and Technology，2022，38(1)：11-20.(in Chinese)

[54] 黄贵秋，颜曦明，钟书明，等. 酸活化蒙脱土催化乙二胺合成哌嗪和三乙烯二胺[J]. 石油化工，2018，47(12)：1338-1344.
HUANG G Q，YAN X M，ZHONG S M，et al. Synthesis of piperazine and triethylenediamine from ethylenediamine over acid activated montmorillonite catalyst[J]. Petrochemical Technology，2018，47(12)：1338-1344.(in Chinese)

[55] KHAN A，AKHTAR M S，AKBAR S，et al. Effects of metal-polycation pillaring and exchangeable cations on aflatoxin adsorption by smectite[J]. Clays and Clay Minerals，2022，70(2)：155-164.

[56] BARRIENTOS VELAZQUEZ A L，DENG Y J. Reducing competition of pepsin in aflatoxin adsorption by modifying a smectite with organic nutrients[J]. Toxins，2020，12(1)：28.

[57] 马文文，刁恩杰，李向阳，等. 改性蒙脱土脱除花生油中黄曲霉毒素 B_1 条件优化研究[J]. 中国粮油学报，2017，32(6)：139-145.
MA W W，DIAO E J，LI X Y，et al. Optimization of removing aflatoxin B_1 in peanut oil by modified montmorillonite[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2017，32(6)：139-145.(in Chinese)

[58] 孙思远. 蒙脱土有机改性及对花生油中黄曲霉毒素 B_1 吸附研究[D]. 泰安：山东农业大学，2017.

[59] 姜德铭，刘晓萌，邹球龙，等. 4种黄曲霉毒素吸附剂对花生油综合品质的影响[J]. 中国油脂，2023，48(4)：75-80.
JIANG D M，LIU X M，ZOU Q L，et al. Effects of four aflatoxin adsorbents on the comprehensive quality of peanut oil[J]. China Oils and Fats，2023，48(4)：75-80.(in Chinese)

[60] 山长坡. 化学法脱除花生中黄曲霉毒素及对其品质的影响[D]. 泰安：山东农业大学，2013.

[61] 张春华，张森，黄蔚霞. 花生油中黄曲霉毒素脱除技术研究[J]. 中国油脂，2014，39(7)：62-64.
ZHANG C H，ZHANG S，HUANG W X. Removal of aflatoxin from peanut oil[J]. China Oils and Fats，2014，39(7)：62-64.(in Chinese)

[62] 杨威，董志文，雷芬芬，等. 碱液处理花生脱除花生油中黄曲霉毒素 B_1 的研究[J]. 中国油脂，2019，44(3)：90-93.

YANG W，DONG Z W，LEI F F，et al. Removal of aflatoxin B_1 from peanut oil by alkaline solution treatment of peanut[J]. China Oils and Fats，2019，44(3)：90-93.（in Chinese）

[63] 杨威，魏学鼎，雷芬芬，等. 4种方法脱除花生油中黄曲霉毒素B_1的研究[J]. 食品科学，2019，40(22)：339-346.

YANG W，WEI X D，LEI F F，et al. Comparative removal of aflatoxin B_1 from peanut oil by four different methods[J]. Food Science，2019，40(22)：339-346.（in Chinese）

[64] THAKAEW R，CHAIKLANGMUANG S. Aflatoxin B_1 elimination in low-grade maize by co-influence of heat and chemical treatment [J]. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods，2023，15(3)：55-67.

[65] 赵国斌. 氨气熏蒸法降解花生中的黄曲霉素B_1[J]. 食品研究与开发，2014，35(3)：111-113.

ZHAO G B. Degradation of aflatoxins B_1 which in peanut by ammonia gas method[J]. Food Research and Development，2014，35(3)：111-113.（in Chinese）

[66] 纪剑，于坚，王良哲，等. 真菌毒素的降解技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报，2022，41(5)：1-10.

JI J，YU J，WANG L Z，et al. Research progress in mycotoxin degradation technology[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2022，41(5)：1-10.（in Chinese）

[67] 宋慧玲. 臭氧处理对储藏玉米中微生物及真菌毒素的影响研究[D]. 郑州：河南工业大学，2022.

[68] 刘玉兰，郑婷婷，马宇翔，等. 臭氧熏蒸对玉米胚中真菌毒素的降解消除作用[J]. 食品科学，2022，43(3)：77-82.

LIU Y L，ZHENG T T，MA Y X，et al. Effect of ozone fumigation on the removal of mycotoxins in corn germ [J]. Food Science，2022，43(3)：77-82.（in Chinese）

[69] 李超. 臭氧处理粮油制品中真菌毒素及对品质影响的研究[D]. 镇江：江苏科技大学，2020.

[70] 刘芳，李萌萌，卞科. 臭氧对食品中真菌毒素的降解效果及影响因素研究进展[J]. 食品与发酵工业，2021，47(18)：282-286，293.

LIU F，LI M M，BIAN K. Recent progress in the degradation effects of mycotoxins in food with ozone and the related influencing factors [J]. Food and Fermentation Industries，2021，47(18)：282-286，293.（in Chinese）

[71] Yousef Sultan，Naresh Magan. 使用气态臭氧体外处理控制储存埃及带壳花生中黄曲霉和黄曲霉毒素B_1的潜力[J]. 粮油食品科技，2021，29(6)：29-37，22.

SULTAN Y，MAGAN N. Potential for control of *A. flavus* and aflatoxin B_1 *in vitro* and in stored Egyptian shelled peanuts using gaseous ozone treatment [J]. Science and Technology of Cereals，Oils and Foods，2021，29(6)：29-37，22.（in Chinese）

[72] 胡小猛，李强，包金阳，等. 油脂中黄曲霉毒素B_1的控制及光催化降解研究进展[J]. 食品安全质量检测学报，2024，15(15)：182-190.

HU X M，LI Q，BAO J Y，et al. Research progress on the control and photocatalytic degradation of aflatoxin B_1 in edible oil[J]. Journal of Food Safety & Quality，2024，15(15)：182-190.（in Chinese）

[73] 李志. TiO_2可见光光催化研究[J]. 西藏科技，2021(7)：68-74.

LI Z. Research on visible-light photocatalysis of TiO_2 [J]. Tibet Science and Technology，2021(7)：68-74.（in Chinese）

[74] 崔晓雷. 纳米TiO_2和碘修饰TiO_2光催化降解花生油中的黄曲霉毒素B_1的研究[D]. 广州：华南农业大学，2017.

[75] 徐程鹏. 铁碘共掺杂修饰负载型纳米TiO_2薄膜紫外光催化降解花生油中黄曲霉毒素B_1[D]. 广州：华南农业大学，2019.

[76] 徐程鹏，叶盛英，崔晓蕾，等. TiO_2光催化降解花生油中黄曲霉毒素B_1及其动力学研究[J]. 食品工业科技，2018，39(11)：253-257，263.

XU C P，YE S Y，CUI X L，et al. Study on TiO_2 UV photocatalytic degradation of aflatoxin B_1 in peanut oil and its kinetics by titanium dioxide nano-photocatalyst [J]. Science and Technology of Food Industry，2018，39(11)：253-257，263.（in Chinese）

[77] XIONG L Q，TANG J W. Strategies and challenges on selectivity of photocatalytic oxidation of organic substances [J]. Advanced Energy Materials，2021，11(8)：2003216.

[78] 周育，刘胜龙，肖亚中. 农产品中主要真菌毒素微生物及微生物酶解毒研究与发展趋势[J]. 微生物学杂志，2023，43(3)：1-10.

ZHOU Y，LIU S L，XIAO Y Z. Study and development trends on microbial detoxification of major mycotoxins in agricultural products[J]. Journal of Microbiology，2023，43(3)：1-10.（in Chinese）

[79] 王晓玲，蔡国林，李卫青，等. 降解花生粕中黄曲霉毒素菌株的筛选及其在发酵酶解偶联工艺中的应用[J]. 粮食与食品工业，2021，28(2)：48-52.

WANG X L，CAI G L，LI W Q，et al. Screening of strain degrading aflatoxin in peanut meals and its application in uncoupling process of fermentation enzyme [J]. Cereal & Food Industry，2021，28(2)：48-52.（in Chinese）

[80] 邱天宇，王海鸣，朱瑜，等. 响应面优化黑曲霉生物发酵花生粕脱除黄曲霉毒素研究[J]. 农产品加工，2020(20)：1-7.
QIU T Y，WANG H M，ZHU Y，et al. Optimization of microbial fermentation removal of aflatoxins in peanut meal by *Aspergillus niger* using response surface methodology[J]. Farm Products Processing，2020(20)：1-7.(in Chinese)

[81] 徐铭乾，蔡国林，朱德伟，等. 黄曲霉毒素B_1脱毒菌株的分离鉴定及在花生粕中的应用[J]. 中国油脂，2015，40(3)：20-24.
XU M Q，CAI G L，ZHU D W，et al. Isolation and identification of strain degrading aflatoxin B_1 and its application in peanut meal[J]. China Oils and Fats，2015，40(3)：20-24.(in Chinese)

[82] 张婉. 黄曲霉毒素B_1降解菌的筛选及降解机制研究[D]. 长春：吉林大学，2023.

[83] 常程程，丁梓雪，王彦钦，等. 微生物对黄曲霉毒素去除的研究进展[J]. 中国饲料，2023(23)：138-143.
CHANG C C，DING Z X，WANG Y Q，et al. Research progress of aflatoxin removal by microorganisms[J]. China Feed，2023(23)：138-143.(in Chinese)

[84] 刘宁，贾慧，申珅，等. 真菌漆酶：多样的生物学功能及复杂的天然底物[J]. 农业生物技术学报，2020，28(2)：333-341.
LIU N，JIA H，SHEN S，et al. Fungal laccase：multi-biofunction and complicated natural substrates[J]. Journal of Agricultural Biotechnology，2020，28(2)：333-341.(in Chinese)

[85] 曹玲，冯江涛，贺军波，等. 漆酶降解花生粕中黄曲霉毒素B_1的研究[J]. 中国油脂，2024，49(5)：83-87.
CAO L，FENG J T，HE J B，et al. Process optimization and molecular docking analysis of laccase degradation of aflatoxin B_1 in peanut cake[J]. China Oils and Fats，2024，49(5)：83-87.(in Chinese)

[86] 刘英丽，毛慧佳，杨梓妍，等. 重组漆酶降解黄曲霉毒素B_1分子对接分析及产物结构解析[J]. 食品科学，2019，40(24)：119-127.
LIU Y L，MAO H J，YANG Z Y，et al. Molecular docking analysis of the interaction between recombinant laccase and aflatoxin B_1 and structural elucidation of degradation products of aflatoxin B_1[J]. Food Science，2019，40(24)：119-127.(in Chinese)

[87] 熊东炜. 解淀粉芽孢杆菌中黄曲霉毒素降解酶的分离鉴定及降解特性研究[D]. 沈阳：沈阳农业大学，2022.

[88] 徐炜，张玉磊，施妍，等. 真菌毒素降解酶及其在饲料与食品行业中的研究现状[J]. 食品与生物技术学报，2023，42(1)：1-17.
XU W，ZHANG Y L，SHI Y，et al. Studies on mycotoxin degrading enzymes and their applications in feed and food industries[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2023，42(1)：1-17.(in Chinese)

[89] 计成，贾如，赵丽红. 基因工程技术在黄曲霉毒素生物降解中的应用[J]. 中国农业科学，2017，50(17)：3422-3428.
JI C，JIA R，ZHAO L H. Application of gene engineering technique in aflatoxin biodegradation[J]. Scientia Agricultura Sinica，2017，50(17)：3422-3428.(in Chinese)

[90] 沈祥震. 花生油中黄曲霉毒素B_1紫外降解及安全性评价[D]. 泰安：山东农业大学，2014.

[91] 莫紫梅. 黄曲霉毒素B_1降解产物及降解安全性评价研究进展[J]. 中国油脂，2024，49(6)：98-105，123.
MO Z M. Research progress on degradation products and degradation safety evaluation of aflatoxin B_1[J]. China Oils and Fats，2024，49(6)：98-105，123.(in Chinese)

[92] 王辰龙. 花生油中黄曲霉毒素B_1的降解及其安全性评价[D]. 合肥：安徽农业大学，2014.

[93] 王瑞琦. 电子束加速去除花生粕中黄曲霉毒素B_1的研究[D]. 无锡：江南大学，2014.

[94] 姬宁. 花生油中黄曲霉毒素B_1碱炼脱毒及安全性评价[D]. 泰安：山东农业大学，2015.

[95] MAGZOUB R A M，YASSIN A A A，ABDEL-RAHIM A M，et al. Photocatalytic detoxification of aflatoxins in Sudanese peanut oil using immobilized titanium dioxide[J]. Food Control，2019，95：206-214.

[96] 唐璎，黄佳，邓展瑞，等. 一株枯草芽孢杆菌降解黄曲霉毒素B_1产物分析[J]. 生物技术通报，2021，37(12)：82-90.
TANG Y，HUANG J，DENG Z R，et al. Product analysis of degrading aflatoxin B_1 by a strain *Bacillus subtilis*[J]. Biotechnology Bulletin，2021，37(12)：82-90.(in Chinese)

[97] 王佳兴，谢岩黎，宋娟. 细菌M19降解黄曲霉毒素B_1降解产物的毒性分析[J]. 中国粮油学报，2020，35(4)：107-112，126.
WANG J X，XIE Y L，SONG J. Toxicity analysis of the degradation product of aflatoxin B_1 by bacterial M19[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2020，35(4)：107-112，126.(in Chinese)

（责任编辑：刘冬梅）