·论著·一次研究·

基于双柱前处理的高效液相色谱-荧光检测法测定百药煎中黄曲霉毒素

童培珍[1,2]，邓立萍[1,2]，杨　丽[1,2]，邱韵静[1,2]，吴妙梨[1,2]，胡绮萍[1,2]，李国卫[1,2]，陈向东[1,2]，孙冬梅[1,2]

1. 广东一方制药有限公司（广东佛山 528000）
2. 广东省中药配方颗粒企业重点实验室（广东佛山 528000）

【摘要】目的 建立高效液相色谱-荧光检测准确测定百药煎中黄曲霉毒素的方法。**方法** 采用两步前处理法，样品经70%甲醇溶液提取后，依次经Bond Elut HLB柱和免疫亲和柱纯化。采用Waters HSS T3（250 mm × 4.6 mm，5 μm）色谱柱进行分离，以甲醇-乙腈-水（24∶11∶65）为流动相；以荧光检测器检测，激发波长：360 nm，发射波长：450 nm；流速：1.0 mL/min；柱温：30 ℃，进样量：30 μL。**结果** 黄曲霉毒素B_1、B_2、G_1、G_2线性范围分别为0.010 8 ~ 0.054 0 ng、0.003 3 ~ 0.016 5 ng、0.010 3 ~ 0.051 5 ng、0.003 0 ~ 0.015 0 ng，$r \geqslant 0.998\ 8$；检出限为0.06 ~ 0.15 μg/kg，定量限为0.15 ~ 0.35 μg/kg；4种黄曲霉毒素平均加标回收率为86.44% ~ 96.15%，*RSD*为1.95% ~ 3.17%（$n = 6$）。**结论** 该方法解决了百药煎黄曲霉毒素检测基质干扰问题，且方法灵敏度和准确度高，可用于百药煎黄曲霉毒素测定，为其标准完善提供依据。

【关键词】百药煎；黄曲霉毒素；固相萃取柱；免疫亲和柱；高效液相色谱-荧光检测法
【中图分类号】R927.2　　**【文献标识码】**A

Determination of aflatoxins in Baiyaojian by HPLC-FLD with dual-column pre-treatment

TONG Peizhen[1,2], DENG Liping[1,2], YANG Li[1,2], QIU Yunjing[1,2], WU Miaoli[1,2], HU Qiping[1,2], LI Guowei[1,2], CHEN Xiangdong[1,2], SUN Dongmei[1,2]

1. Guangdong Yifang Pharmaceutical Co., Ltd, Foshan 528000, Guangdong Province, China
2. Guangdong Key Laboratory of TCM Formula Granule Enterprises, Foshan 528000, Guangdong Province, China
Corresponding author: LI Guowei, Email: 452048107@qq.com

【Abstract】Objective To establish the accurate determination of aflatoxins in Baiyaojian using high-performance liquid chromatography with fluorescence detection (HPLC-FLD). **Methods** The sample was extracted with 70% methanol and purified sequentially through a Bond Elut HLB column and an immunoaffinity column. Separation was performed on a Waters HSS T3 column (250 mm×4.6 mm, 5 μm) with a mobile phase of methanol-acetonitrile-water (24∶11∶65). Fluorescence detection was performed at an excitation wavelength of 360 nm and an emission wavelength of 450 nm. The flow rate was 1.0 mL/min, column temperature was maintained at

DOI: 10.12173/j.issn.2097-4922.202607004
基金项目：佛山市科技创新项目（2120001002309）；佛山市南海区重点领域科技攻关专项（南科［2023］20号-18）
通信作者：李国卫，硕士，主任中药师，Email：452048107@qq.com

30 ℃, and the injection volume was 30 μL. **Results** The linear ranges for aflatoxins B_1, B_2, G_1 and G_2 were 0.0108-0.0540 ng, 0.0033-0.0165 ng, 0.0103-0.0515 ng and 0.0030-0.0150 ng, respectively, with $r \geqslant 0.9988$. The limits of detection ranged was 0.06-0.15 μg/kg, and the limits of quantification was 0.15-0.35 μg/kg. The average spiked recovery rates for the four aflatoxins ranged from 86.44% to 96.15%, with relative standard deviations (*RSDs*) of 1.95%-3.17%. **Conclusion** This method effectively resolved matrix interference issues in the analysis of aflatoxins in Baiyaojian, offering high sensitivity and accuracy. It is suitable for determining aflatoxins in Baiyaojian and provides a basis for improving its analytical standards.

【Keywords】Baiyaojian; Aflatoxin; Solid phase extraction column; Immunoaffinity column; HPLC-FLD

百药煎为五倍子、茶叶、酒糟经发酵加工而成的块状物[1]。《中华本草》[2]收载的制法为：将五倍子捣碎，研末过筛，每 500 g 加入茶叶末 30 g，酵糟 120 g，同置容器中拌匀捣烂，摊平，切成 3 cm 见方的小块，待发酵到表面长出白霜时取出，晒干，贮藏于干燥处。《本草蒙筌》[3]记载：“一新鲜五倍子十斤，捣烂，细磁缸盛，稻草盖盒七昼夜，取出复捣，加桔梗、甘草末各二两，又盒一七，仍捣仍盒。务过七次，捏成饼，晒干任用。治肺胀喘咳不休”。《医学入门》[4]记载：“用五倍子十斤，乌梅、白矾各一斤，酒曲四两。将水红蓼三斤，煎水去渣，入乌梅煎，不可多水，要得其所，却入五倍子粗末并矾、曲和匀，如作酒曲样，入瓷器内。遮不见风，候生白，取出晒干听用。具润肺止嗽，化痰，止渴之功，用于疗肠风下血，为末糁诸疮，干水敛口”。百药煎具有清热化痰、生津止渴的功效，临床常用于肺热咳嗽、风火牙痛、口舌糜烂、久痢脱肛[1]。

黄曲霉毒素主要是由黄曲霉、寄生曲霉、特异曲霉和假溜曲霉等真菌产生，目前已分离出 20 余种衍生物。黄曲霉毒素 B_1（aflatoxin B_1，AFB_1）、黄曲霉毒素 B_2（aflatoxin B_2，AFB_2）、黄曲霉毒素 G_1（aflatoxin G_1，AFG_1）、黄曲霉毒素 G_2（aflatoxin G_2，AFG_2）为最常见的 4 种类型，其中 AFB_1 毒性最为突出[5-12]。近年来，随着人们对药品安全性关注度的提高，关于中药材黄曲霉毒素污染的报道日渐增多。百药煎由茶叶、酒糟、五倍子发酵加工而成，而茶叶中常见黑曲霉、米曲霉、寄生曲霉、黄曲霉、土曲霉、杂色曲霉、烟曲霉[13-16]等真菌，王瑞生等[17]和胡梦等[18-19]从百药煎样品中分离筛选到青霉菌属真菌、卷枝毛霉菌、黑曲霉菌属真菌、米根霉菌。鉴于百药煎的发酵工艺特点，其生产工艺过程存在真菌污染风险。

部分国家及地区针对草药中黄曲霉毒素的相关规定见表 1[20-24]。目前液液萃取、固相萃取、磁性固相萃取、免疫磁固相萃取、免疫亲和柱、分散固相萃取法[25-29]常用于黄曲霉毒素检测前处理，TLC 法、酶联免疫法、荧光光度法、HPLC 法、高效液相色谱串联质谱法[30]为黄曲霉毒素主要检测方法。四川省药品监督管理局颁布的百药煎中药标准[1]已规定黄曲霉毒素限度，但按该标准项下方法，即《中国药典》2025 年版四部通则 2351 黄曲霉毒素测定法[30]测定时，空白加标样品无法检出，表明基质干扰严重，百药煎缺乏专属的黄曲霉毒素检测方法。本研究尝试将固相萃取与免疫亲和柱联用进行前处理净化，结合光化学柱后衍生-HPLC 荧光检测法进行测定，建立适用于百药煎的黄曲霉毒素检测方法。

1 仪器与材料

1.1 主要仪器

e2695 型 Waters 高效液相色谱仪和 2475 型荧光检测器（美国 Waters 公司）；UVD-1525 型光化学衍生反应器（北京中检维康生物技术有限公司）；ME204E 万分之一分析电子天平（瑞士梅特勒-托利多公司）；KQ500DE 数控超声波清洗器（昆山市超声仪器有限公司）；TDL-4000C 型低速台式离心机（上海安亭科学仪器厂）；Milli-Q Direct 超纯水系统（德国默克股份有限公司）。

1.2 主要试药与材料

16 批百药煎饮片均购自都江堰桐君堂中药饮片有限公司，产地为四川，编号为 S1~S16；黄曲霉毒素混合对照品（中国食品药品检定研究院，批号：610001-202208，AFB_1、AFB_2、AFG_1、AFG_2 标示浓度分别为 1.08、0.33、1.03、0.3 μg/mL）；甲醇和乙腈为色谱纯；其余试剂均为分析纯；水为实验室自制超纯水；Bond Elut HLB 聚合型固相萃

表1 各国及地区植物药中黄曲霉毒素的限量标准

Table 1. Limits of aflatoxin in herbal drugs in various countries and regions

标准来源	品种	限量（μg/kg）	
		AFB_1	AFB_1、AFB_2、AFG_1、AFG_2
《中国药典》2025年版[20]	大枣、水蛭、地龙、肉豆蔻、全蝎、决明子、麦芽、远志、陈皮、使君子、柏子仁、胖大海、莲子、桃仁、蜈蚣、槟榔、酸枣仁、僵蚕、薏苡仁、延胡索、土鳖虫、九香虫、蜂房、马钱子	5	10
《韩国民国药典》[21]	甘草、决明子、桃仁、半夏、柏子仁、槟榔子、酸枣仁、远志、红花	10	15
《欧洲药典》[22]	草药	2	4
《美国药典》[23]	丹参及其提取物、红景天及其提取物、大豆异黄酮提取物、姜黄及其提取物、南非醉茄根及其提取物、番茄提取物、臀果木提取物	5	20
《香港中药材标准第五册》[24]	药材	5	10

取小柱（美国安捷伦科技有限公司，填料：200 mg，柱管：6 mL）；黄曲霉毒素总量免疫亲和柱（日本岛津仪器有限公司）。

2 方法与结果

2.1 色谱条件

色谱柱：Waters HSS T3（250 mm × 4.6 mm，5 μm）；流动相：甲醇–乙腈–水（24∶11∶65）；以荧光检测器检测，激发波长：360 nm，发射波长：450 nm；流速：1.0 mL/min；柱温：30 ℃，进样量：30 μL。

2.2 溶液的制备

2.2.1 对照品溶液

精密量取黄曲霉毒素混合对照品0.5 mL，置10 mL量瓶中，用甲醇稀释至刻度，作为贮备溶液。精密量取贮备溶液1 mL，置25 mL量瓶中，用70%甲醇稀释至刻度，制成每1 mL含AFB_1 2.16 ng、AFB_2 0.66 ng、AFG_1 2.06 ng、AFG_2 0.6 ng的混合对照品溶液。

2.2.2 供试品溶液

（1）提取：将百药煎饮片粉碎后过四号筛，取粉末约5 g，精密称定，与3 g氯化钠混匀后置离心杯中，精密加入70%甲醇溶液75 mL，高速搅拌（搅拌速度大于11 000 r/min） 2 min，离心（3 300 × g）5 min。精密移取上清液10 mL，加水定容至50 mL，摇匀后再离心（3 300×g）10 min。

（2）固相萃取净化：精密量取上述离心后的上清液20 mL，以适宜流速通过经甲醇和水各5 mL活化的Bond Elut HLB柱（200 mg/6 mL）。上样完毕后，用水5 mL淋洗弃去，再以甲醇4 mL洗脱目标组分，收集洗脱液于25 mL量瓶中，加水稀释至刻度。

（3）免疫亲和纯化：将上述稀释液全部转移至黄曲霉毒素免疫亲和柱，依次用淋洗液（称取氯化钠8.0 g、磷酸氢二钠1.2 g、磷酸二氢钾0.2 g、氯化钾0.2 g，加水990 mL使溶解，盐酸调节pH至7.0，加水稀释至1 000 mL）10 mL和水10 mL洗涤，弃去流出液。以空气排尽柱内残留水分后，用1.5 mL甲醇洗脱，收集洗脱液于2 mL量瓶中，加水定容至刻度，摇匀，经0.22 μm微孔滤膜过滤，取续滤液即得。

2.2.3 阴性样品溶液

取不含黄曲霉毒素的百药煎粉末约5 g，按上述方法进行提取、净化、纯化，即得。

2.2.4 加标样品溶液

取不含黄曲霉毒素的百药煎粉末约5 g，加入黄曲霉毒素混合对照品溶液24 μL，按上述方法进行提取、净化、纯化，即得。

2.3 系统适用性试验

精密吸取“2.2”项下对照品溶液、加标样品溶液、阴性样品溶液各30 μL，注入液相色谱仪，按照“2.1”项下色谱条件进行分析，黄曲霉毒素相邻2个色谱峰分离度均大于1.5，色谱图见图1。

2.4 线性关系考察

分别精密吸取“2.2”项下对照品溶液5、10、15、20、25 μL，按照“2.1”项下色谱条件测定，以进样量为横坐标（X，μL）、峰面积为纵坐标（Y）绘制标准曲线，结果见表2。AFG_2、AFG_1、AFB_2、AFB_1在线性范围内质量与峰面积成良好的线性关系。

2.5 检出限和定量限

取“2.2”项下对照品溶液稀释至一定浓度，按照“2.1”项下色谱条件测定，以信噪比10∶1时对应浓度计算定量限，以信噪比3∶1时对应浓

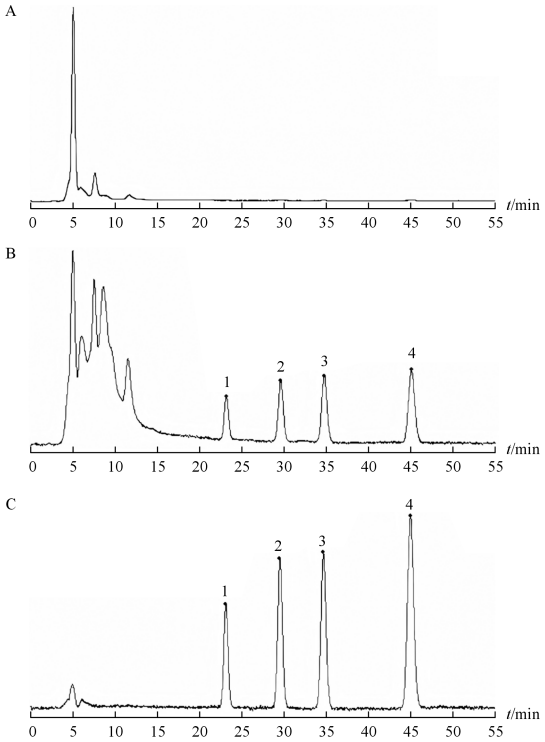

图1 HPLC色谱图

Figure 1. HPLC chromatogram

注：A. 阴性样品溶液；B. 加标样品溶液；C. 对照品溶液；1.AFG_2；2.AFG_1；3.AFB_2；4.AFB_1。

度计算检出限，结果见表2。

2.6 精密度试验

精密吸取“2.2”项下对照品溶液15 μL，按照“2.1”项下色谱条件连续进样6次，计算得AFG_2、AFG_1、AFB_2、AFB_1峰面积的*RSD*分别为1.74%、2.94%、1.71%、2.85%（n = 6），结果表明仪器精密度良好。

2.7 重复性试验

取不含黄曲霉毒素的百药煎饮片粉末约5 g（编号：S1），共6份，精密称定，分别加入黄曲霉毒素混合对照品溶液24 μL，按“2.2”项下方法制备供试品溶液6份；再按“2.1”项下色谱条件进样测定，测得AFG_2、AFG_1、AFB_2、AFB_1含量分别为1.31、4.19、1.52、4.54 μg/kg，*RSD*分别为1.95%、2.63%、2.73%、3.17%（n = 6），结果表明该方法重复性良好。

2.8 稳定性试验

取不含黄曲霉毒素的百药煎饮片粉末约5 g（编号：S1），精密称定，加入黄曲霉毒素混合对照品溶液24 μL，按“2.2”项下方法制备供试品溶液，再按“2.1”项下色谱条件分别在0、2、4、6、8、12 h进样测定，计算得AFG_2、AFG_1、AFB_2、AFB_1峰面积的*RSD*分别为4.82%、4.17%、4.23%、3.54%（n = 6），结果表明溶液在12 h内稳定性良好。

2.9 回收率试验

取不含黄曲霉毒素的百药煎饮片粉末（编号：S1）约5 g，共6份，精密称定，分别加入黄曲霉毒素混合对照品溶液24 μL，按“2.2”项下方法制备供试品溶液6份；再按“2.1”项下色谱条件进样测定，计算得4种黄曲霉毒素的平均回收率分别为91.29%、86.44%、96.15%、87.49%，*RSD*分别为1.95%、2.63%、2.73%、1.81%（n = 6），结果表明分析方法的准确度良好。

2.10 耐用性试验

取不含黄曲霉毒素的百药煎饮片粉末约5 g（编号：S1），精密称定，加入黄曲霉毒素混合对照品溶液24 μL，按“2.2”项下方法制备供试品溶液，考察不同流速（0.9、1.0、1.1 mL/min）及不同柱温（28、30、32 ℃）对色谱条件的耐用性。计算得不同流速AFG_2、AFG_1、AFB_2、AFB_1峰面积的*RSD*分别为2.64%、2.84%、2.61%、2.55%（n = 3）；不同柱温AFG_2、AFG_1、AFB_2、AFB_1峰面积的*RSD*分别为2.62%、2.37%、2.33%、2.44%（n=3）；结果表明该方法耐用性良好。

2.11 样品测定

取16批百药煎饮片，按“2.2”项下方法制备供试品溶液，再按“2.1”项下色谱条件进样测定，结果见表3。16批百药煎样品均未检出AFG_1、AFB_2、AFB_1，14批次检出AFG_2但均在规定限度范围内，即4种黄曲霉毒素总量低于10 μg/kg [20]。

表2 线性关系、检出限和定量限考察结果

Table 2. Results of linear relationship, limit of detection and limit of quantification

成分	回归方程	r	线性范围（ng）	检出限（μg/kg）	定量限（μg/kg）
AFG_2	Y = 22 668.00X − 17 719.4	0.999 8	0.003 0 ~ 0.015 0	0.06	0.15
AFG_1	Y = 36 886.42X − 17 124.5	0.998 8	0.010 3 ~ 0.051 5	0.15	0.35
AFB_2	Y = 40 332.58X − 31 164.9	0.999 5	0.003 3 ~ 0.016 5	0.06	0.15
AFB_1	Y = 60 539.16X − 64 998.4	0.999 8	0.010 8 ~ 0.054 0	0.15	0.35

表3 样品测定结果（μg/kg，n = 2）

Table 3. Sample determination results (μg/kg, n = 2)

编号	AFG_2	AFG_1	AFB_2	AFB_1
S1	未检出	未检出	未检出	未检出
S2	0.420	未检出	未检出	未检出
S3	0.534	未检出	未检出	未检出
S4	0.370	未检出	未检出	未检出
S5	0.352	未检出	未检出	未检出
S6	0.533	未检出	未检出	未检出
S7	0.458	未检出	未检出	未检出
S8	0.398	未检出	未检出	未检出
S9	0.480	未检出	未检出	未检出
S10	0.318	未检出	未检出	未检出
S11	0.469	未检出	未检出	未检出
S12	0.492	未检出	未检出	未检出
S13	0.331	未检出	未检出	未检出
S14	未检出	未检出	未检出	未检出
S15	0.262	未检出	未检出	未检出
S16	未检出	未检出	未检出	未检出

3 讨论

3.1 色谱条件优化

依据《中国药典》2025年版四部通则2351黄曲霉毒素第一法[30]，色谱条件项下流动相规定为甲醇-乙腈-水（40∶18∶42），按该条件下测定，4种黄曲霉毒素色谱峰分离度低于1.5，难以满足定量分析要求，需对该方法进行基质适应性调整。调节有机相比例，发现随着有机相比例逐渐降低、水相比例逐渐增高，色谱峰分离度逐渐增加；当水相比例达到62%时，对照品各色谱峰分离良好，但百药煎加标样品AFG_2基线不平稳，结果易出现误差；当流动相为甲醇-乙腈-水（24∶11∶65）时，对照品和样品各色谱峰基线平稳且分离度好，最终确定流动相为甲醇-乙腈-水（24∶11∶65）。

3.2 前处理优化

按照《中国药典》2025年版通则2351黄曲霉毒素测定第一法[30]，仅以免疫亲和柱净化时（70%甲醇提取、稀释后直接过柱），空白加标样品（加标浓度为5 μg/kg，以AFB_1计）中4种黄曲霉毒素均未检出。由于黄曲霉毒素为脂溶性成分，70%甲醇直接提取中水溶性成分较多，故采用固相萃取小柱先净化，除去部分水溶性成分，减少基质干扰，再通过水稀释至适合免疫亲和柱的醇浓度，黄曲霉毒素通过免疫亲和柱特异性吸附与解吸附，进一步除杂富集，纯化效果理想。

3.3 百药煎饮片中黄曲霉毒素含量现状

在本研究收集的16批样品（均来自四川省同一家企业）中，黄曲霉毒素的检出率为87.5%，而AFG_1、AFB_2、AFB_1均未检出；所有阳性样品的黄曲霉毒素总量均低于《中国药典》2025年版一部[20]规定的限度（不得过10 μg/kg）。这一结果提示，在该企业特定发酵或储存条件下，这批百药煎样品可能更易产生AFG_2，其污染特征与中药材常见的以AFB_1为主的模式有所不同。但由于样本来源单一，该现象尚不能代表百药煎的普遍污染规律，不同发酵工艺可能导致黄曲霉毒素污染谱的差异，因此有必要扩大样本来源，对百药煎的黄曲霉毒素进行持续监控。

3.4 小结

《中国药典》2025年版四部通则2351黄曲霉毒素测定方法[30]为通用型方法，但每味中药材的基质不同，对于基质干扰严重、无法准确测定的品种，需要进一步纯化。百药煎基质干扰严重，通过固相萃取小柱结合免疫亲和柱的前处理方法，能达到较好的纯化效果，提高检测的准确性，为标准的完善提供依据。

参考文献

1 四川省药品监督管理局中药标准. 百药煎 SCYPBZXD2021-001[S]. 2021: 1-2.

2 国家中医药管理局《中华本草》编委会, 编著. 中华本草. 第五册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 91.

3 明·陈嘉谟, 编著. 本草蒙筌[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1988: 114-115.

4 明·李梴, 编著. 医学入门[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2023: 350.

5 徐静静, 闫培生, 王凯, 等. 一株抑制黄曲霉毒素的深海微杆菌的分离与鉴定[J]. 生物技术进展, 2015, 5(3): 235-239, 253. [Xu JJ, Yan PS, Wang K, et al. Isolation and identification of a microbacterium strain from deep-sea with inhibition activity against aflatoxin[J]. Current Biotechnology, 2015, 5(3): 235-239, 253.] DOI: 10.3969/j.issn.2095-2341.2015.03.14.

6 于泽, 张凯淇, 王毅, 等. 黄曲霉毒素的危害及预防[J]. 农产品加工(上半月), 2022(8): 76-78, 82. [Yu Z, Zhang KQ, Wang Y, et al. Harm and prevention of aflatoxins[J]. Agricultural Products Processing, 2022(8): 76-78, 82.] DOI: 10.16693/j. cnki. 1671-9646(X). 2022.08.017.

7 淦露. 黄曲霉毒素检测技术研究进展[J]. 现代食品, 2022, 28(15): 114-117. [Gan L. Research progress of aflatoxin detection technology[J]. Modern Food, 2022, 28(15): 114-117.] DOI: 10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2022.15.027.

8 刘蕊, 赵新悦, 毛雯雯, 等. 中药材中黄曲霉毒素及赭曲霉毒

素 A 污染的研究进展[J]. 中国药物警戒, 2020, 17(2): 117-120, 128. [Liu R, Zhao XY, Mao WW, et al. Aflatoxin and ochratoxin a contamination in Chinese herbal medicines[J]. Chinese Journal of Pharmacovigilance, 2020, 17(2): 117-120, 128.] DOI: 10.19803/j.1672-8629.2020.02.11.

9 马双成, 王莹, 魏峰. 中药质量控制未来发展方向的思考[J]. 中国药学杂志, 2021, 56(16): 1273-1281. [Ma SC, Wang Y, Wei F. Ideas on future development direction of quality control of traditional Chinese medicine[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2021, 56(16): 1273-1281.] DOI: 10.11669/cpj.2021.16.001.

10 李剑池, 牛雪珂, 王欣艺, 等. 不同来源曲霉菌在谷物中黄曲霉毒素的发生规律研究[J]. 上海农业学报, 2025, 41(6): 84-92. [Li JC, Niu XK, Wang XY. Occurrence pattern of aflatoxins in grains by *Aspergillus spp*. from different sources[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2025, 41(6): 84-92.] DOI: 10.15955/j.issn1000-3924.2025.06.10.

11 潘安康. 黄曲霉毒素B_1的免疫毒性研究进展[J]. 工业微生物, 2026, 56(1): 27-29. [Pan AK. Research progress on immunotoxicity of aflatoxin B_1[J]. Industrial Microbiology, 2026, 56(1): 27-29.] DOI: 10.3969/j.issn.1001-6678.2026.01.009.

12 刘童莹, 范博佑, 刘玉环. 几种常见食源性真菌毒素对人类生殖功能的危害及全产业链防控研究进展[J]. 江西科学, 2026, 44(1): 32-38. [Liu TY, Fan BY, Liu YH. Research progress on the hazards of common foodborne mycotoxins to human reproductive function and their prevention and control across the entire industry chain[J]. Jiangxi Science, 2026, 44(1): 32-38.] DOI: 10.13990/j.issn1001-3679.2026.01.005.

13 赵仁亮, 胥伟, 吴丹, 等. 基于 Illumina MiSeq 技术分析不同地域加工的茯砖茶中微生物群落多样性[J]. 生态学杂志, 2017, 36(7): 1865-1876. [Zhao RL, Xu W, Wu D, et al. Microbial community diversity of Fu brick tea produced in different regions by Illumina MiSeq technology[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(7): 1865-1876.] DOI: 10.13292/j.1000-4890.201707.012.

14 李雪玲, 陈华红, 段海秀, 等. 普洱茶渥堆及发酵罐发酵过程中优势微生物的研究[J]. 食品科技, 2017, 42(6): 35-40. [Li XL, Chen HH, Duan HX, et al. The dominant microbes from pu′er tea samples during pile fermentation and tank fermentation process[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(6): 35-40.] DOI: 10.13684/j.cnki.spkj.2017. 06.010.

15 彭庆娟. 茶叶中真菌毒素污染现状及检测方法研究进展[J]. 现代食品, 2025(23): 57-60. [Peng QJ. Current situation of mycotoxin pollution in tea and research progress of detection methods[J]. Modern Food, 2025(23): 57-60.] DOI: 10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2025.23.015.

16 闫航滨, 叶子菱, 崔谱, 等. 后发酵茶叶中真菌毒素标准化检测技术与风险评估[C]//中国菌物学会. 中国菌物学会2024年学术年会论文摘要, 2024: 31. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.032251.

17 王瑞生, 曹文文, 张江山, 等. 百药煎不同菌种发酵品特征性成分差异比较及潜在分子作用机制探讨[J]. 中草药, 2021, 52(18): 5524-5534. [Wang RS, Cao W , Zhang JS, et al. Comparison of characteristic components of Baiyaojian fermented by different strains and its potential molecular mechanism[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2021, 52(18): 5524-5534.] https://link.cnki. net/urlid/12.1108.R.20210910.1636.002.

18 胡梦, 王瑞生, 文雯, 等. 百药煎传统炮制过程中微生物的分离与初步鉴定及其鞣质水解能力测定[J]. 中国现代中药, 2017, 19(8): 6. [Hu M, Wang RS, Wen W. Identification and isolation of microorganisms from Chinese gall leaven samples during its processing[J]. Modern Chinese Medicine, 2017, 19(8): 6.] DOI: CNKI:SUN:YJXX.0.2017-08-015.

19 胡梦, 程玉冰, 张培燕, 等. 百药煎中转化鞣质生成没食子酸的最佳菌种组合筛选[J]. 中国现代中药, 2018, 20(4):5. [Hu M, Cheng YB, Zhang PY. Screening optimal strains combination for transforming tannin into gallic acid in Chinese gall leaven[J]. Modern Chinese Medicine, 2018, 20(4): 5.] DOI: 10.13313/j.issn.1673-4890.20170510 005.

20 中国药典2025年版. 一部[S]. 2025: 24-405.

21 韩国药典第十版[S]. 2012.

22 The United States Pharmacopeial Convention. The United States Pharmacopeia and the National Formulary 2021-online[S]. Baltimore: United Book Press, 2020.

23 European pharmacopoeia commission. European pharmacopoeia 10th Edition[S]. Strasbourg: European directorate for the quality of medicines & healthcare of council of Europe (EDQM), 2019.

24 香港中药材标准. 第五册. [S]. 2012: 128-131.

25 袁迪, 洪滨, 张珊, 等. 食品中黄曲霉毒素样品前处理及检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(24): 124-131. [Yuan D, Hong B, Zhang S, et al. Research progress on sample pretreatment and detection technology of aflatoxins in foods[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2023, 14(24): 124-131.] DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2023.24.015.

26 钦巧眉, 毛劲, 程玲, 等. 农产品和食品中黄曲霉毒素检测与阻控技术研究现状及展望[J]. 农业工程学报, 2025, 41(10): 1-14. [Qin QM, Mao J, Cheng L. Research status and prospect of the detection, prevention and control techniques for aflatoxins in agricultural products and food[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025, 41(10): 1-14.] DOI: 10.11975 /j.issn.1002-6819.202502160.

27 陈胤杰. 实时直接分析质谱快速筛查谷物中多种类真菌毒素的高通量方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2024. DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau.2024.006180.

28 王云政. 基于纳米纤维固相萃取的食品中黄曲霉毒素检测研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2024. DOI: 10.27242/d.cnki.gnjlu.2024. 000253.

29 任丹丹, 谢云峰, 李少晖, 等. 饲料及食品中玉米赤霉烯酮检测方法研究进展[J]. 分析测试技术与仪器, 2015, 21(4): 199-204. [Ren DD, Xie YF, Li SH, et al. Research progress of determination methods of zearalenone in feedsand foodstuffs[J]. Analysis and Testing Technology and Instruments, 2015, 21(4): 199-204.] DOI: 10.16495/j.1006-3757.2015. 04.002.

30 中国药典2025年版. 四部[S]. 2025: 368-370.

收稿日期：2026 年 07 月 03 日 修回日期：2026 年 09 月 18 日
本文编辑：周璐敏 冼静怡