

炒麦芽中黄曲霉毒素污染状况及其 向茶汤中的迁移研究

胡玲^{1,2}, 张雪纯², 周洁², 朱海强², 康传志³, 杨健^{3*}

(1. 宁波检验检疫科学技术研究院, 宁波 315000; 2. 宁波海关技术中心, 宁波 315000;
3. 中国中医科学院中药资源中心道地药材国家重点实验室培育基地, 北京 100700)

摘要: **目的** 采用高效液相色谱-串联质谱法 (high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS) 测定炒麦芽中的黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂, 进行状况调查并考察其从炒麦芽向茶汤中的迁移率。**方法** 以 ¹³C-稳定同位素标记的黄曲霉毒素为内标, 采用免疫亲和柱净化样品, HPLC-MS/MS 法测定炒麦芽中黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂ 的含量, 并进行方法验证; 用该方法对 72 个批次的炒麦芽样品进行黄曲霉毒素污染状况调查; 模拟炒麦芽的茶汤制备过程, 考察黄曲霉毒素向茶汤中的迁移情况。**结果** 炒麦芽中黄曲霉毒素的检出限和定量限分别为 0.1~0.3 μg/kg 和 0.4~0.8 μg/kg, 加标回收率在 86.1%~111.2% 之间, 精密度为 2.5%~7.0%。72 个批次炒麦芽样品的黄曲霉毒素检出率为 9.7%, 阳性样品中 4 种黄曲霉毒素总量在 2.7~22.3 μg/kg 之间。炒麦芽中黄曲霉毒素向茶汤中的迁移率在 11.0%~17.0% 之间。**结论** 该方法准确、灵敏, 适用于炒麦芽中黄曲霉毒素的测定; 炒麦芽样品中黄曲霉毒素的检出率及其向茶汤中的迁移率总体较低。

关键词: 炒麦芽; 黄曲霉毒素; 污染状况; 茶汤; 迁移

Study on aflatoxins contamination in processed *Hordei Fructus Germinatus* and their transfer into tea

HU Ling^{1,2}, ZHANG Xue-Chun², ZHOU Jie², ZHU Hai-Qiang², KANG Chuan-Zhi³, YANG Jian^{3*}

(1. Ningbo Academy of Inspection and Quarantine, Ningbo 315000, China; 2. Ningbo Customs Technical Center, Ningbo 315000, China; 3. National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China)

ABSTRACT: Objective To determine aflatoxin B₁, B₂, G₁, and G₂ in processed *Hordei Fructus Germinatus* by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS), and investigate the situation and their transfer rates from processed *Hordei Fructus Germinatus* to tea. **Methods** The content of aflatoxins B₁, B₂, G₁, and G₂ in processed *Hordei Fructus Germinatus* were determined by HPLC-MS/MS, using ¹³C-stable isotope labeled aflatoxins as internal standards and immunoaffinity column for sample cleanup, and the method was validated. A total of 72 samples of processed *Hordei Fructus Germinatus* were screened for aflatoxins contamination. The preparation process of tea with processed *Hordei Fructus Germinatus* was simulated to investigate the transfer of aflatoxins into the

基金项目: 中央本级重大增减支项目 (2060302)

Fund: Supported by the Key Project at Central Government Level (2060302)

*通信作者: 杨健, 博士, 副研究员, 主要研究方向为中药资源。E-mail: yangchem2012@163.com

*Corresponding author: YANG Jian, Ph.D, Associate Professor, National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China. E-mail: yangchem2012@163.com

tea. **Results** The limits of detection and limits of quantitation of aflatoxins in processed *Hordei Fructus Germinatus* were 0.1–0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ and 0.4–0.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectively. The recoveries were in the range of 86.1%–111.2% with the precisions of 2.5%–7.0%. The detection rate of aflatoxins in 72 batches of processed *Hordei Fructus Germinatus* samples was 9.7%, and the total amount of 4 kinds of aflatoxins in positive samples ranged from 2.7 to 22.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The transfer rates of aflatoxins from processed *Hordei Fructus Germinatus* to tea was between 11.0% and 17.0%.

Conclusion This method is accurate, sensitive and suitable for the determination of aflatoxins in processed *Hordei Fructus Germinatus*. The detection rates of aflatoxins in processed *Hordei Fructus Germinatus* samples and their transfer rates to tea were generally low.

KEY WORDS: processed *Hordei Fructus Germinatus*; aflatoxins; contamination; tea; transfer

0 引 言

麦芽是一种常见的药食同源中草药, 它是禾本科植物大麦(*Hordeum vulgare* L.)的成熟果实为原料, 用水浸泡后, 在适宜的温度、湿度条件下发芽、干燥而得^[1]。根据是否炮制及炮制方法, 又分为生麦芽、炒麦芽和焦麦芽, 生麦芽照清炒法炒至棕黄色为炒麦芽, 炒至焦褐色为焦麦芽^[1-2]。麦芽具有回乳消胀的功效, 可用于妇女断乳^[1]。此外, 麦芽及其炮制品还具有消食化积的功效^[2], 可作为日常保健茶饮。

大麦在田间生长过程中容易受到真菌的侵害, 不仅可导致大麦减产, 还会影响其品质, 病麦粒中常含有真菌的有毒次生代谢产物-真菌毒素。此外, 在大麦贮存和发芽期间, 亦可能被环境中的真菌感染从而产生并积累真菌毒素^[3-4]。真菌毒素是一类能在低浓度下对人体产生毒害作用的小分子化合物^[5], 主要由曲霉属(*Aspergillus*)、镰刀菌属(*Fusarium*)、青霉属(*Penicillium*)等真菌产生^[6]。其中, 黄曲霉毒素是目前为止发现的毒性最强、最为常见的一类真菌毒素, 具有致癌性、免疫毒性等^[7], 黄曲霉毒素 B₁ 被国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)列为 1 类致癌物^[8], 我国、欧盟、美国等二十多个国家和地区对谷物、香料等多种食品中的黄曲霉毒素制定了限量标准。我国食品安全国家标准 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》对大麦中黄曲霉毒素 B₁ 的限量标准为 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[9]。此外, 作为一植物源性药材, 《中华人民共和国药典》对麦芽中黄曲霉毒素的限量为黄曲霉毒素 B₁(aflatoxin B₁, AFB₁)不得超过 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 4 种黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂(以下分别简称 AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂)的总量不得超过 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[1]。《欧洲药典》规定药用植物中黄曲霉毒素 B₁ 不得超过 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂ 的总量不得超过 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[10]。

近年来, 国内外对于大麦中的黄曲霉毒素、伏马毒素、脱氧雪腐镰刀菌烯醇等真菌毒素已有不少报道^[11-14]。在国外, 由于麦芽是啤酒制造的原料, 其中的真菌毒素也已引起了较多的关注^[14-16], 但国内外对于中药材麦芽中的

真菌毒素研究则仅有少量报道^[17]。本研究采用高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)测定炒麦芽中的 4 种黄曲霉毒素(AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂), 对检测方法进行了验证, 收集 72 个批次炒麦芽样品进行黄曲霉毒素污染状况调查, 并模拟炒麦芽茶汤制备过程, 考察了黄曲霉毒素从炒麦芽到茶汤中的迁移率, 以期炒麦芽的食品及用药安全提供参考。

1 材料与方 法

1.1 仪器与试剂

LC-30AD 高效液相色谱仪(日本岛津公司); AB SciexQtrap 5500 质谱仪(美国 AB Sciex 公司); N-Evap 112 氮吹仪(美国 Organomation 公司); Sorvall ST 40R 离心机(美国 Thermo 公司); MettlerToledo MS205DU 万分之一天平(瑞士梅特勒-托利多公司); Multi Reax 振荡器(德国 Heidolph 公司); Milli-Q 超纯水仪(美国 Millipore 公司)。

AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂ 标准物质及其稳定同位素内标 [¹³C₁₇]-AFB₁、[¹³C₁₇]-AFB₂、[¹³C₁₇]-AFG₁、[¹³C₁₇]-AFG₂、黄曲霉毒素免疫亲和柱(奥地利 Romer Labs 公司); 甲醇、甲酸(色谱纯, 美国 Tedia 公司); 0.22 μm 尼龙滤膜(北京迪马公司); Milli-Q 超纯水。

炒麦芽样品(共 72 批次)购于北京市和宁波市中药店及安徽省亳州市中药材经销商, 每个批次包装炒麦芽含量为 250 g 或 500 g, 样品经中药粉碎机粉碎后, 过 60 目筛备用。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理

用万分之一天平称取 5.0 g(精确至 0.001 g)炒麦芽样品粉末, 加入 20 mL 甲醇-水(70:30, V:V)溶液, 振荡提取 30 min, 5000 r/min 离心 5 min, 取 1 mL 上清, 加入 [¹³C₁₇]-黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂ 内标各 1.0 ng, 用 4 mL 磷酸盐缓冲溶液(phosphate buffered solution, PBS)稀释后, 过免疫亲和柱, 以 2×10 mL 去离子水冲洗, 用 3 mL 甲醇洗脱黄

曲霉毒素,收集洗脱液,用氮气吹至约 0.8 mL,过 0.22 μm 滤膜,上机测试。

1.2.2 仪器条件

液相色谱条件:安捷伦 Eclipse XDB-C₈ 色谱柱 (4.6 mm×150 mm, 5 μm);柱温 40 °C;流动相:0.1%甲酸水溶液(A)-甲醇(B);流速:0.8 mL/min;进样量 5 μL 。梯度洗脱程序:0~3.0 min, 40% B; 3.0~8.0 min, 40% B~100% B; 8.0~9.5 min, 100% B; 9.5~10.5 min, 100% B~40% B; 10.5~12.0 min, 40% B。质谱条件:电喷雾电离(ESI)离子源,正离子扫描,多反应监测(multiple response monitoring, MRM)模式,监测离子及其他相关参数参考 GB 5009.22—2016《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定》第一法,通过标准溶液直接质谱进样稍作调整。

1.2.3 方法验证

配制每种黄曲霉毒素与对应的稳定同位素内标浓度比分别为 1:10、1:5、1:2、1:1、2:1、5:1、10:1 的系列标准溶液,上机测试后,以黄曲霉毒素与内标的峰面积比值对黄曲霉毒素与内标的浓度比值绘制标准曲线,采用最小二乘法进行线性拟合,获得线性回归方程。

采用未检出黄曲霉毒素的炒麦芽样品作为空白,添加不同浓度的黄曲霉毒素,按照 1.2.1 和 1.2.2 进行前处理和检测,根据信噪比(S/N)分别等于 3 和 10 确定检出限和定量限。回收率和精密度实验采用空白炒麦芽样品,分别按照 1.0、5.0、50.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 3 个水平添加 4 种黄曲霉毒素,平行测定 3 次。

1.2.4 茶汤的制备

人们日常饮用麦芽茶,通常采用沸水冲泡炒麦芽的方式。本研究中,考虑到黄曲霉毒素在麦芽颗粒间的分布往往十分不均匀,若从炒麦芽颗粒中取样容易导致所选取样品中黄曲霉毒素含量无法准确地代表该批样品的实际平均污染水平。因此,本研究采用粉碎并均质化后的炒麦芽粉末进行茶汤冲泡的模拟实验。称取自然条件下受到黄曲霉毒素污染的 5.0 g 炒麦芽样品,放入一次性玉米纤维茶包中,用 250 mL 沸水冲泡 15 min,将茶汤倒出,放凉,过滤,取 25 mL 滤液,加入 [¹³C₁₇]-AFB₁、[¹³C₁₇]-AFB₂、[¹³C₁₇]-AFG₁、[¹³C₁₇]-AFG₂ 各 0.5 ng,按照 1.2.1 过免疫亲和柱及其余前处理步骤,按照 1.2.2 条件上机检测。

2 结果与分析

2.1 方法验证

黄曲霉毒素标准曲线线性关系良好, r^2 均大于 0.99,检出限和定量限分别为 0.1~0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 0.4~0.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (详见表 1)。3 个不同水平(1.0、5.0、50.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$)的加标回收实验表明, AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂ 的回收率为 86.1%~111.2%,精密度以相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)表示为 2.5%~7.0%(详见表 2)。

表 1 黄曲霉毒素标准曲线、检出限和定量限
Table 1 Standard curves, limits of detection and limits of quantitation for aflatoxins

待测物	标准曲线*	r^2	检出限 /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	定量限 /($\mu\text{g}/\text{kg}$)
AFB ₁	$Y=0.6833X+0.0928$	0.9950	0.1	0.4
AFB ₂	$Y=0.8684X-0.0740$	0.9946	0.2	0.6
AFG ₁	$Y=1.0225X-0.0207$	0.9997	0.2	0.5
AFG ₂	$Y=1.0544X-0.0587$	0.9989	0.3	0.8

注: *Y=待测物与内标的峰面积比, X=待测物与内标的浓度比。

表 2 黄曲霉毒素回收率和精密度(n=3)
Table 2 Recoveries and precisions of aflatoxins (n=3)

待测物	加标水平/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均回收率/%	RSD/%
AFB ₁	1	91.8	4.3
	5	88.5	3.9
	50	102.0	2.7
AFB ₂	1	93.3	6.7
	5	107.2	5.0
	50	103.4	2.5
AFG ₁	1	86.1	7.0
	5	91.5	4.8
	50	111.2	6.6
AFG ₂	1	90.7	5.2
	5	97.2	3.4
	50	103.5	5.1

2.2 炒麦芽样品中的黄曲霉毒素污染状况

采用 1.2 中的检测方法测定了 72 个批次炒麦芽样品中的 AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂ 含量,其中,7 个样品中检出至少 1 种黄曲霉毒素(详见表 3),阳性样品率为 9.7%。我国 GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》对大麦中黄曲霉毒素 B₁ 的限量以及《中国药典》对中药材麦芽中黄曲霉毒素 B₁ 的限量均为 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。据此,5 个炒麦芽样品中的 AFB₁ 超出限量标准,其中含量最高的 1 个样品超出限量约 3 倍。食品安全国家标准未规定大麦中总黄曲霉毒素的限量,《中国药典》则规定中药材麦芽中的 4 种黄曲霉毒素(AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂)总量不得超过 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$,共有 3 个炒麦芽样品中的黄曲霉毒素总量超出此限量,最高超出约 1 倍。就单个黄曲霉毒素而言, AFB₁ 在所有 7 个阳性样品中均有检出; AFB₂ 在 4 个样品中有检出,且含量均低于 5.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$; AFG₁ 仅在 2 个样品中有检出,含量分别为 1.2 和 2.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$; AFG₂ 则在所有样品中均未检出。王莎等^[17]曾报道于 20 批次市售麦芽样品中检测到 2 批次含黄曲霉毒素 B₁,含量分别为 0.5 和 9.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$,检出率与本研究相仿。

表 3 炒麦芽阳性样品中黄曲霉毒素含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Table 3 Aflatoxins content in positive processed *Hordei Fructus Germinatus* samples ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

样品编号	AFB ₁	AFB ₂	AFG ₁	AFG ₂	总黄曲霉毒素 (AFB ₁ +AFB ₂ +AFG ₁ +AFG ₂) [*]
No.12	10.1	4.9	2.3	-	17.3
No.16	13.9	-	1.2	-	15.1
No.29	5.4	nq	-	-	5.6
No.35	3.6	-	-	-	3.6
No.61	20.9	1.3	-	-	22.3
No.62	7.4	-	-	-	7.4
No.70	2.5	nq	-	-	2.7

注: -: 低于检出限。nq: 有检出, 但低于定量限, 计算总黄曲霉毒素含量时按检出限计算。

2.3 炒麦芽中黄曲霉毒素向茶汤中的迁移率

由于未检测到同时含 4 种黄曲霉毒素的炒麦芽样品, 且仅有 1 个炒麦芽样品(No.12)中同时含有高于定量限的 3 种黄曲霉毒素(AFB₁、AFB₂、AFG₁), 因此, 采用该样品模拟炒麦芽茶汤冲泡实验, 检测结果及计算所得的迁移率如表 4 所示, AFB₁、AFB₂、AFG₁的迁移率分别为 13.6%、17.0%、11.0%。本研究为首次报道黄曲霉毒素从麦芽到茶汤中的迁移率。NIAN 等^[18]曾报道了黄曲霉毒素从麦芽到水煎液中的迁移情况, 以 3 g 麦芽加 30 mL 水, 煎煮 2 h, AFB₁、AFB₂、AFG₂(该样品中不含 AFG₁)从麦芽到水煎液中的迁移率分别为 6.3%、29.8%、33.5%。该报道与本研究的迁移率存在一定的差异, 考虑到煎煮时间(2 h)比冲泡时间(15 min)久, 则可较为合理地解释 AFB₂的迁移率高于本研究, 但又难以解释 AFB₁的迁移率低于本研究。此外, 该报道中的麦芽样品系通过人工接种黄曲霉(*Aspergillus flavus*)从而产生黄曲霉毒素, 而本研究中的麦芽样品则为天然受黄曲霉毒素污染, 由此推测, 毒素产生途径的差异, 可能也是导致迁移率不同的因素之一。总体看来, 麦芽中的黄曲霉毒素无论是向水煎液或茶汤中的迁移率均较小。目前为止, 关于中药材中各种真菌毒素向水煎液或茶汤中迁移水平的报道仍然较少, 已有的研究表明, 真菌毒素向水中的迁移率与其水溶性呈正相关, 水溶性较弱的黄曲霉毒素迁移率低, 而一些水溶性强的真菌毒素则迁移率大为提高, 例如, 黄芪中赭曲霉毒素 A 和麦芽中伏马毒素 B₁、B₂向水煎液中的转移率高达 71.8%~83.4%^[19-20]。

3 结 论

本研究采用同位素内标高效液相色谱-串联质谱法测定炒麦芽中的 AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂, 该方法准确、灵敏、重复性好。用该方法对市场中的 72 个批次炒麦芽样品进行黄曲霉毒素污染状况调查, 阳性样品率为 9.7%, 4 种黄曲霉毒素总量在 2.7~22.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间。模拟炒麦芽的

茶汤制备过程, 结果表明, 炒麦芽中黄曲霉毒素向茶汤中的迁移率较低, 在 11%~17%之间。

表 4 炒麦芽中黄曲霉毒素含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)及向茶汤中的迁移率($n=3$)
Table 4 Content of aflatoxins in processed *Hordei Fructus Germinatus* ($\mu\text{g}/\text{kg}$) and transfer rates to tea ($n=3$)

	AFB ₁	AFB ₂	AFG ₁
炒麦芽(No.12)中含量	10.11±0.78	4.87±0.26	2.28±0.13
茶汤中含量 (已按炒麦芽原料折算)	1.37±0.16	0.82±0.10	0.25±0.02
迁移率 (平均值±标准偏差)	(13.6±1.1)%	(17.0±2.9)%	(11.0±1.6)%

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China volume 1 [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2015.
- [2] 孙华, 梁杰, 张梦琪, 等. 麦芽炮制历史沿革及现代研究[J]. 广东药科大学学报, 2018, 34(2): 254-257.
SUN H, LIANG J, ZHANG MQ, et al. Historical evolution and modern research of *Hordei Fructus Germinatus* processing [J]. J Guangdong Pharm Univ, 2018, 34(2): 254-257.
- [3] 杨文新, 沈秋泉, 杨建明, 等. 大麦赤霉病抗性研究及其抗源开拓[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(2): 91-93.
YANG WX, SHEN QQ, YANG JM, et al. A study on barley scab resistance and the development of resistant sources [J]. J Triticeae Crop, 2002, 22(2): 91-93.
- [4] NOOTS I, DELCOUR JA, MICHIELS CW. From field barley to malt: Detection and specification of microbial activity for quality aspects [J]. Crit Rev Microbiol, 1998, 25: 121-153.
- [5] DESJARDINS AE, HOHN TM. Mycotoxins in plant pathogenesis [J]. Mol Plant-Microbe Inte, 1997, 10: 147-152.
- [6] DARRA NE, GAMBACORTA L, SOLFRIZZO M. Multimycotoxins

- occurrence in spices and herbs commercialized in Lebanon [J]. *Food Control*, 2019, 95: 63–70.
- [7] PICKOVA D, OSTRY V, MALIR J, *et al.* A Review on mycotoxins and microfungi in spices in the light of the last five years [J]. *Toxins*, 2020, 12(12): 789.
- [8] IARC. Agents classified by the IARC monographs, Volumes 1–128 [Z], 2020.
- [9] 张新中, 丁辉, 彭涛, 等. 真菌毒素检测与限量标准的现状与问题分析 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(18): 6149–6156.
ZHANG XZ, DING H, PENG T, *et al.* Current situation and problems of mycotoxin detection and limitation standards [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(18): 6149–6156.
- [10] European Pharmacopoeia Commission. European pharmacopoeia Vol. 1 (9th Edition) [M]. Strasbourg: Council of Europe, 2016.
- [11] KHODAEI D, JAVANMARDI F, KHANEGHAH AM. The global overview of the occurrence of mycotoxins in cereals: A three-year survey [J]. *Curr Opin Food Sci*, 2021, 39: 36–42.
- [12] PARK JW, KIM EK, SHON DH, *et al.* Natural co-occurrence of aflatoxin B₁, fumonisin B₁ and ochratoxin A in barley and corn foods from Korea [J]. *Food Addit Contam*, 2002, 19: 1073–1080.
- [13] PIACENTINI KC, ROCHA LO, SAVI GD, *et al.* Occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in brewing barley grains from Brazil [J]. *Mycotoxin Res*, 2018, 34: 173–178.
- [14] PASCARI X, RAMOS AJ, MARIN S, *et al.* Mycotoxins and beer. Impact of beer production process on mycotoxin contamination. A review [J]. *Food Res Int*, 2018, 103: 121–129.
- [15] PEREYRA MLG, ROSA CAR, DALCERO AM, *et al.* Mycobiota and mycotoxins in malted barley and brewer's spent grain from Argentinean breweries [J]. *Lett Appl Microbiol*, 2011, 53: 649–655.
- [16] SIMAS MMS, BOTURA MB, CORREA B, *et al.* Determination of fungal microbiota and mycotoxins in brewer's grain used in dairy cattle feeding in the state of Bahia, Brazil [J]. *Food Control*, 2007, 18(5): 404–408.
- [17] 王莎, 孔维军, 杨美华. 同位素内标-超高效液相色谱串联质谱法检测麦芽中11种真菌毒素 [J]. *药学报*, 2016, 51(1): 110–115.
WANG S, KONG WJ, YANG MH. Simultaneous determination of 11 mycotoxins in malt by isotope internal standard-UPLC-MS/MS [J]. *Acta Pharm Sin*, 2016, 51(1): 110–115.
- [18] NIAN Y, WANG H, YING G, *et al.* Transferrates of aflatoxins from herbal medicines to decoctions determined by an optimized high-performance liquid chromatography with fluorescence detection method [J]. *J Pharm Pharmacol*, 2018, 70: 278–288.
- [19] TOMAN J, OSTRY V, GROSSE Y, *et al.* Occurrence of ochratoxin A in *Astragalus propinquus* root and its transfer to decoction [J]. *Mycotoxin Res*, 2018, 34: 223–227.
- [20] HU L, ZHU HQ, NI ML, *et al.* Free and hidden fumonisins in *Hordei Fructus Germinatus* and their transfer to the decoction [J]. *World J Tradit Chin Med*, 2020, 6: 106–111.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介

胡玲, 博士, 主要研究方向为食品及中药材分析检测。
E-mail: hulyn@126.com

杨健, 博士, 副研究员, 主要研究方向为中药资源。
E-mail: yangchem2012@163.com