

# 贝母质量安全现状及分析方法研究进展

陈德勇<sup>1,2</sup>, 张泽洲<sup>2,3</sup>, 李瑞理<sup>4</sup>, 陈捷胤<sup>2</sup>, 戴小枫<sup>2</sup>, 孔志强<sup>2\*</sup>, 侯旭杰<sup>1\*</sup>

(1. 塔里木大学生命科学学院, 阿拉尔 843300; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193;  
3. 中国农业科学院饲料研究所, 北京 100081; 4. 海淀区市场监督管理局, 北京 100080)

**摘要:** 贝母(*Bulbus fritillaria*)是我国传统名贵中药材, 凭借其独特的医疗保健效果, 不仅在中药方剂中大量使用, 而且在保健品、食品及日用化工产业也应用广泛, 但因其生产地域广泛、品种繁多、种植生产过程中无指导标准以及缺乏规范化加工操作流程, 导致目前市场在售的贝母质量与品质参差不齐, 贝母食用药用安全存在隐患, 危害人体健康及制约贝母产业发展。本文主要针对目前贝母中存在的农药残留、掺杂掺假及重金属残留等问题进行系统总结, 对影响贝母质量安全的农药残留、掺杂掺假和重金属残留现状及分析方法进行系统综述, 并为后续保障贝母质量与安全提供了相关建议, 为加快我国关于贝母中相关质量安全标准的制修订, 及在中药材和保健食品开发过程中的应用提供科学参考。

**关键词:** 贝母; 质量安全; 农药残留; 掺杂掺假; 重金属残留; 分析方法

## Research progress on quality safety status and analytical methods of *Bulbus fritillaria*

CHEN De-Yong<sup>1,2</sup>, ZHANG Ze-Zhou<sup>2,3</sup>, LI Rui-Xing<sup>4</sup>, CHEN Jie-Yin<sup>2</sup>, DAI Xiao-Feng<sup>2</sup>,  
KONG Zhi-Qiang<sup>2\*</sup>, HOU Xu-Jie<sup>1\*</sup>

(1. College of Life Sciences, Tarim University, Alar 843300, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 4. Haidian District Market Supervision and Administration Bureau, Beijing 100080, China)

**ABSTRACT:** *Bulbus fritillaria* is a traditional and precious Chinese medicinal material in my country, with its unique medical and health effects, it is not only widely used in Chinese medicine prescriptions, but also widely used in health care products, food and daily chemical industries, but because of its wide production area, the variety of varieties, there are no guiding standards during the planting and production process and lack of standardized processing and operation procedures, resulting in the quality and guarantee of *Bulbus fritillaria* currently on the market are uneven, and there are potential dangers of shellfish edible medicinal safety, endangering human health and restricting the development of shellfish mother industry. This article mainly focused on the current problems of pesticide residues, adulteration and heavy metal residues in *Bulbus fritillaria*, summarized the current status and detection methods of these three problems in *Bulbus fritillaria*, and put forward specific questions about *Bulbus*

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-21)

Fund: Supported by the China Agriculture Research System of Ministry of Finance and Ministry of Agriculture and Rural Affairs (CARS-21)

\*通信作者: 孔志强, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农药残留与环境毒理。E-mail: kongzhiqiang@caas.cn

侯旭杰, 教授, 主要研究方向为农产品深加工技术。E-mail: 911395719@qq.com

\*Corresponding author: KONG Zhi-Qiang, Ph.D, Associate Professor, State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant, No.2, Yuanmingyuan West Road, Haidian District, Beijing 100193, China. E-mail: kongzhiqiang@caas.cn

HOU Xu-Jie, Professor, College of Life Sciences, Tarim University, Alar, No.1487, East Tarim Avenue, 843300, China. E-mail: 911395719@qq.com

*fritillaria*, recommendations on the establishment of standards for harmful substances in mothers, in order to speed up the establishment and revision of my country's relevant standards and regulations in mothers, and provide suggestions for the development of Chinese medicinal materials and health foods with high quality, high efficiency and excellent production.

**KEY WORDS:** *Bulbus fritillaria*; quality and safety; pesticide residues; adulteration; heavy metal residue; analytical method

## 0 引言

中药材贝母(*Bulbus fritillaria*)是百合科贝母属植物的干燥鳞茎,具有清热润肺、化痰止咳之功效,早在《本草纲目拾遗》中就有“味甘而补肺,治虚寒咳嗽以川贝为宜”的记载<sup>[1-2]</sup>。它在我国主要分布于四川、西藏、湖北、新疆、浙江、甘肃、黑龙江、安徽等地区<sup>[3]</sup>。2020年版《中华人民共和国药典》中收录了川贝母、平贝母、伊贝母、浙贝母以及湖北贝母 5 种贝母<sup>[4]</sup>。2021 年中华人民共和国卫生健康委公布的可用于保健食品的中药名单中包括了川贝母、浙贝母、湖北贝母及平贝母 4 种贝母<sup>[5]</sup>。根据中华人民共和国特殊食品信息查询平台统计,目前登记在册的含有贝母的保健类食品共有 42 种,分别应用在调节免疫力、清咽润喉、对胃粘膜辅助保护、对化学性肝损伤辅助保护及祛痤疮、抗疲劳以及耐缺氧的保健功能上<sup>[6]</sup>。

贝母从古至今一直是需求量较大的药材,但由于不同产地的贝母质量品质及市场价格差异较大,尤其像川贝这种传统名贵品种,因其产量较小,价格在三千元每公斤左右,而浙贝母、平贝母是在我国种植面积较广的品种,其价格只有一百元每公斤左右<sup>[7]</sup>,因此近年来市场上出现了大量的贝母或其饮片掺杂、掺假以及掺伪等现象<sup>[7-10]</sup>。在 2019 年全国中药材及饮片抽检中,川贝母和平贝母都因掺假掺杂问题出现在抽检不合格率较高的品种名单中<sup>[11]</sup>。但目前关于贝母质量安全与品质方面的研究缺乏系统梳理。

本研究将从农药残留、掺杂掺假和重金属残留 3 方面介绍贝母的质量安全研究进展,为贝母类保健食品的开发及源头产品的质量控制和相关质量安全标准的制修订提供科学参考。

## 1 贝母中农药残留研究进展

### 1.1 贝母中农药残留现状

近年来随着贝母药用价值被越来越多的人了解,其市场价值也在逐年增加。目前国内市场贝母年需求量达 5000 多吨,贝母的年出口量在 300~500 t,野生贝母已不能满足市场需求,导致贝母资源供求关系失衡。贝母的人工栽培从 20 世纪 60 年代开始进行,其中四川、浙江是贝母种植的主产区<sup>[12]</sup>。在贝母种植过程中因病虫害问题突出,

药农通常使用化学农药进行防治,致使贝母中农药残留现象时有发生,从而对人体健康造成安全隐患<sup>[13]</sup>。表 1 整理了 2011—2021 年关于贝母中农药残留的文献报道,从表 1 中可以发现贝母中农药残留检出现象普遍存在,浙贝母中农药残留问题相比于其他品种贝母问题更加突出,尤其是毒死蜱、有机氯类禁用农药检出率较高。截至 2021 年 11 月,我国在贝母上登记使用的农药共有 9 款,合计 13 种有效成分<sup>[25]</sup>,但实际生产和常规检测中的农药种类高达几十种,可见贝母种植过程中不按规定使用农药情况十分普遍。而当前我国关于贝母中农药残留限量的规定主要有 2020 年版《中华人民共和国药典》(以下简称《2020 中国药典》)和 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》两部国家标准,其中《2020 中国药典》的第四部通则《0212 药材和饮片检定通则》规定了 33 种禁用农药不得在中药材中检出,而 GB 2763—2021 药用类根茎植物中规定了贝母中阿维菌素(鲜 0.01 mg/kg,干 0.2 mg/kg)与吡虫啉(鲜 0.05 mg/kg,干 0.2 mg/kg)的最大残留限量。其次浙江省地方标准 DB 33/T 532—2014《浙贝母生产技术规程》中曾规定了六六六、滴滴涕、五氯硝基苯 3 种农药在浙贝母中的最大残留限量,但根据《食品安全法》进行的标准清理,此标准中关于质量安全的部分已经废除<sup>[26]</sup>。这导致目前贝母生产中农药的使用和最大残留限量标准很难满足实际生产需要,给贝母在药用和食用方面带来一定的安全隐患。

### 1.2 贝母中农药残留检测方法

农药残留检测中常用的色谱分析方法主要包括气相色谱法(gas chromatography, GC)、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)、超临界流体色谱法(supercritical fluid chromatography, SFC)、薄层色谱法(thin layer chromatography, TLC)等,2020 年版《中华人民共和国药典》<sup>[4]</sup>中规定了中药材中农药残留检测常用的 4 种方法,分别是有机氯类农药残留量测定法(色谱法)、有机磷类农药残留量测定法(色谱法)、拟除虫菊酯类农药残留量测定法(色谱法)以及农药多残留量测定法(色谱质谱联用法)。我国也针对植物源性食品制定了气相色谱-质谱联用法 GB 23200.113—2018《食品安全国家标准 植物源性食品中 208 种农药及其代谢物残留量的测定》,液相色谱

谱-质谱联用法 GB 23200.121—2021《食品安全国家标准植物源性食品中 331 种农药及其代谢物残留量的测定》也于 2021 年 9 月起实施。可以发现, 色谱串联质谱方法因其高选择性、高灵敏度、良好的重现性以及高通量等优点已成为农药残留检测主流技术。俞建忠等<sup>[16]</sup>用 QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定浙贝母鲜样和干样中吡虫啉、啉菌噁唑、氟唑菌酰胺、啉菌环胺、吡唑醚菌酯和阿维菌素共 6 种农药残留量, 鲜样中的平均回收率均在 80%~109%之间, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)在 0.95%~13%之间( $n=5$ ), 干样中的平均回收率均在 77%~101%之间, RSDs 在 0.89%~7.5%之间。盛振华等<sup>[23]</sup>采用在线凝胶色谱-串联质谱法快速检测鲜浙贝母中 17 种农药残留, 平均回收率都在 80%~120%之间, 相对标准偏差在 5.12%~10.53%之

间; 检测限在 1.83~9.13  $\mu\text{g/L}$  范围内。但由于色谱质谱技术所需仪器设备昂贵、操作过程复杂、需配备专业人员, 在一线的实际应用中有一定局限性, 因此快速检测技术在中药材中也有较广的应用。刘娇等<sup>[27]</sup>对比了快检方法和 GC-MS 方法检测结果, 发现农药残留速测卡及快检仪器检测结果与 GC-MS 法基本相符, 且用时更短。另外酶抑制法、免疫分析法、化学速测法等快检手段也日益成熟, 已在中药材农药残留检测中有所应用<sup>[28]</sup>。

农药残留分析属于痕量分析, 而贝母因其富含生物碱、皂苷、黄酮等次生代谢产物, 对贝母中农药残留分析带来极大的基质干扰, 因此针对复杂基质开发新型高效的前处理方法, 提高贝母中目标农药的提取率, 降低基质效应对分析物响应信号的影响, 是贝母农药残留检测中亟待解决的技术问题。

表 1 2011—2021 年贝母中农药检出情况汇总  
Table 1 Summary of pesticide detection in *Bulbus fritillaria* from 2011 to 2021

样本信息	检出农药	检出率	检测方法	检出浓度 ( $\mu\text{g/kg}$ )	参考文献
193 批次贝母 (30 批次川贝母 163 批次浙贝母)	毒死蜱、甲基异柳磷、乙草胺、胺菊酯、 腐霉利、氯菊酯、甲霜灵、 $\beta$ -六六六、六 氯苯、五氯硝基苯、醚菊酯、甲氰菊酯、 草除灵、p,p'-滴滴伊	47.2%	气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS/MS)	0.1~20	[14]
10 批次浙贝母	苯醚甲环唑、三唑醇、烯效唑	90%	超高效液相色谱-串联质谱法 (ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)	1.4~15.6	[15]
15 批次浙贝母	吡虫啉、啉菌噁唑、氟唑菌酰胺、 啉菌环胺、吡唑醚菌酯、阿维菌素	未检出	UPLC-MS/MS	0.06~1.06	[16]
20 批次浙贝母	多菌灵	15%	高效液相色谱紫外检测器 (high-pressure liquid chromatography-ultraviolet, HPLC-UV)	40.0	[17]
6 批次浙贝母	啉霉胺	17%	气相色谱-氮磷检测器	2.0	[18]
10 批次川贝母	毒死蜱、甲胺磷、倍硫磷	12%	UPLC-MS/MS	0.45~76.5	[19]
7 批次浙贝母	六六六、滴滴涕、五氯硝基苯	100%	GC-MS	0.4~13.2	[20]
20 批次浙贝母	多菌灵、毒死蜱、三唑酮、甲霜灵	95%	高效液相色谱串联三重四极杆质 谱检测器(high-pressure liquid chromatography series triple quadrupole mass spectrometry instrument, HPLC-QQQ-MS/MS)	0.08~1.0	[21]
10 批浙贝母样品	20 种有机氯及拟除虫菊酯类农药	未检出	GC-MS	0.19~7.33	[22]
3 批次浙贝母	二苯砷、咯菌腈	12%	在线凝胶渗透色谱-气相色谱-串 联质谱法(gel permeation chromatography-gas chromatography-tandem mass spectrometry, GPC-GC-MS/MS)	1.83~9.11	[23]
9 批次浙贝母	敌敌畏、百菌清、毒死蜱、戊唑醇、苯醚 甲环唑、多菌灵等 13 种农药	100%	HPLC-MS/MS GC-MS	0.0011~509.63	[24]

## 2 掺假掺杂鉴别

贝母在我国分布广泛并且种属较多, 有研究报道我国共有 24 个品种<sup>[29-31]</sup>, 由于不同产区及不同品种贝母在有效成分、种类、含量、市场价格及临床受欢迎程度存在显著差异, 导致市场上贝母质量参差不齐, 浙贝母、平贝母、伊贝母、湖北贝母等混充川贝母的现象十分普遍, 另外, 也有将提取过有效成分的浙贝母当做浙贝母饮片进行出售的现象<sup>[32-33]</sup>。因此建立不同品种贝母有效鉴别方法对规范市场、建立行业标准等都具有深远意义。目前已报道的鉴别方法主要包括性状鉴别、色谱鉴别、光谱鉴别等。

### 2.1 色谱鉴别

色谱鉴别主要包括薄层色谱鉴别、液相色谱、气相色谱及液相色谱-串联质谱等方法。薄层色谱鉴别方法作为药典中收录的贝母鉴别法, 主要通过测定贝母中活性物质(如贝母碱、贝母素、贝母辛等)的含量及种类, 联合数据分析方法建立贝母的指纹图谱或数据模型, 以此来确定不同产地、种属的贝母。于国强等<sup>[34]</sup>采用 TLC 法以贝母中所含西贝母碱为依据有效鉴别了川贝母与湖北贝母、浙贝母及平贝母。液相色谱法在贝母鉴别中也属于常用方法, 龚盼竹等<sup>[35]</sup>、王玲玲等<sup>[36]</sup>、王琳玲等<sup>[37]</sup>利用液相色谱与 HPLC 方法对暗紫贝母与卷叶贝母的特有色谱峰进行了区分, 建立了川贝母、伊贝母等的典型的指纹图谱。LUO 等<sup>[38]</sup>在此基础上结合化学计量学方法鉴别了川贝母及其掺杂物。也有学者通过 HPLC 法对贝母中核酸类物质定量分析用以鉴别不同种类贝母, 如贺美艳等<sup>[39]</sup>对浙贝母、川贝母、平贝母及新疆贝母中尿嘧啶及 3 种核苷的含量分析, 结果指标成分含量差异明显, 4 种贝母区分度较高。另外, 气相色谱技术因其前处理简便、高效、快捷, 在中药材鉴定中也有出色的表现, 如 LIU 等<sup>[40]</sup>采用热解-气相色谱法有效地鉴定了 3 种不同来源的 15 批贝母。

但随着色谱-质谱联用技术的成熟, 其高分辨率和高灵敏度的优点, 可以在同样条件获取更多的化合物信息, 对样品的分析更加深入, 所以采用色谱质谱联用技术鉴别不同基源贝母的方法也越来越多。如 DUAN 等<sup>[41]</sup>利用高效液相色谱结合光电二极管阵列检测器与电喷雾电离质谱仪技术对 24 批不同地区贝母中 10 种核苷和核碱进行了定量和鉴定。GUI 等<sup>[42]</sup>利用木尖电喷雾电离质谱方法鉴别了 6 种不同来源的川贝母。木尖喷雾作为新的以固体为基体的电喷雾方法, 可直接分析液体、粉末和提取物等复杂样品, 与金属探针相比, 木制尖端的亲水性和表面多孔性能降低电喷雾溶剂的扩散和蒸发, 从而延长信号持续时间, 并且木质本身具有分离作用, 能更准确地检测出目标化合物。这种新型的色谱串联质谱技术对同属不同种的鉴别将是未来研究的热点。

### 2.2 光谱鉴别

光谱法包括原子光谱、紫外光谱、红外光谱和核磁共振光谱等, 是利用化合物独特的吸收光谱进行定性, 同时根据其不同波长下吸光度和浓度的关系定量分析, 具有快速、简便、用量小及操作简洁的特点, 已在物种鉴别评价中广泛应用<sup>[43-45]</sup>。目前在贝母鉴别中已运用技术有近红外光谱、激光拉曼光谱、傅里叶变换衰减全反射红外光谱等, 如刘晶晶等<sup>[46]</sup>采用傅里叶变换红外光谱法和二维相关光谱分析技术, 根据峰形和峰数差异将松贝、青贝、炉贝、太白贝母区别, 其中太白贝母的生物碱含量最高; 杨袁森等<sup>[47]</sup>采用便携式声光可调滤光器结合近红外光谱仪分析鉴定了“松贝”及伪品; 赵懿滢等<sup>[48]</sup>采用激光诱导击穿光谱鉴别了流熏后的浙贝母, 并且建立的支持向量机算法模型其建模准确率和预测准确率分别达到了 100%和 95.83%, 结果表明光谱法能够准确鉴别不同品种的贝母。光谱法具有无损鉴别的优势, 但对于一些活性成分分类目标分析物, 分子量小、含量低、分子震动信号弱, 光谱法就很难迅速响应, 另外光谱法的数据分析经常要结合数学建模分析, 模型的准确性对于鉴别结果很重要, 这对光谱法的普及造成一定困难。

### 2.3 分子生物学鉴别

分子生物学技术一直是药典中经典的鉴别方式, 随着分子生物学技术发展其内容与方法也不断地优化。其原理为通过聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)模拟 DNA 的天然复制过程, 针对特定序列设计引物进行扩增, 达到区别鉴定的目的。主要包括 PCR-限制性片段长度多态性技术、PCR-随机扩增多态性 DNA 技术、简单重复序列标记技术、PCR-内部简单重复序列技术、PCR-扩增片段长度多态性技术、实时荧光定量 PCR 技术(qPCR)以及 DNA 条形码等<sup>[49]</sup>, 具有特异性强、灵敏度高、快速、简单、高通量等特点, 已成为现代检验检测的重要手段之一。刘香香等<sup>[50]</sup>研究了川贝母内转录间隔区 1 (ITS1)序列的特点, 设计了川贝母特异性引物, 使用 PCR 技术进行鉴别, 正品川贝母扩增出 1 条 200 bp 左右的条带, 平贝母、伊贝母、湖北贝母等未出现。赵仲麟等<sup>[51]</sup>采用聚合酶链式反应-限制性片段长度多态性法(polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism, PCR-RFLP), 重新设计扩增引物, 将下游引物设计在贝母与真菌序列差异较大的 ITS2 区域, 有效地鉴定了川贝母, 并防止了因真菌污染而造成的假阳性, 提高了川贝母的鉴定准确率。另外, 兰青阔等<sup>[52]</sup>使用荧光-环状等温扩增技术, 根据川贝母药材中可出现特定的扩增曲线及荧光变化, 而混淆品中无此现象, 准确鉴别了川贝母, 方法检测灵敏度达 0.1%。潘杰等<sup>[53]</sup>采用杂交探针技术结合熔解曲线法, 有效鉴别出川贝母和伊贝母, 最低检出限达到了 0.2 pg, 具有较高的灵敏度。分子生物

技术是一种较为先进的技术, PCR 相关鉴别法前景较好、但操作耗时耗力,目前正在通过完善最适反应条件及酶切体系等参数向简便快速方向发展。

## 2.4 其他鉴别

性状鉴别是一种传统鉴别手段,是根据从业者的经验进行判断的方式,也是药典中规定的鉴别方式。随着硬件技术的高度发展,利用扫描电子显微镜通过二次电子信号成像来观察样品表面超微结构形态也可作为性状鉴别方法。吴莹等<sup>[54]</sup>采用扫描电镜对浙贝母饮片进行鉴定发现假药模型与浙贝母饮片相比,具有表皮及横切面的排列更疏松、淀粉粒更少等特征。这种观察表面的细微结构差别,也是一种较为直观、高效的方式,可以作为贝母属种间鉴别的参考依据。电子感官评价系统近年来也运用到贝母类的真伪鉴别中,电子感官评价系统根据其采用的传感器类型,可分为单一和混合类型 2 种形式,如电子鼻、电子舌、电子眼或将多传感器联用等<sup>[55]</sup>。如刘瑞新等<sup>[56]</sup>基于电子眼技术利用外观特征对川贝进行鉴定,冯文豪等<sup>[57]</sup>采用电子鼻技术进行川贝母真伪鉴别, YANG 等<sup>[58]</sup>利用电子鼻联用电子舌技术鉴别贝母粉及人工掺假粉,分析过程中常结合偏最小二乘-判别分析、判别分析、最小二乘支持向量机、主成分分析-判别分析等多元统计分析模型,结果显示与传统经验鉴别相比,电子感官技术辨识的时效性及正判率更为稳定。

随着检测技术的发展,不同维度的鉴别方式越来越多,且鉴别效果也更加高效准确,相比于高度依赖经验判断的传统性状鉴定,通过色谱、光谱及分子生物学鉴定的准确率也越来越高,并且更加系统科学。但是光谱、色谱等鉴别技术所需仪器价格昂贵、操作复杂、人员专业化的要求高等问题是目前无法避免的,经济化、便携化鉴别技术已成为今后的发展方向。

## 3 贝母中重金属残留研究进展

### 3.1 贝母中重金属残留现状

中药材受种植环境的影响及药材种类自身的特点,普遍含有一定量的有害重金属,一般情况下,有害重金属元素是指铅、镉、汞、砷、铜、铬等,目前市场上主要监测的有铅、镉、汞以及砷 4 种元素<sup>[59]</sup>。汪钦扬等<sup>[60]</sup>对浙江磐安县种植基地 20 批次贝母中镉、汞、砷、铅、镍、锌、铜等 8 种重金属进行抽检,发现镉的残留量较高,超标率为 15%,其余 7 种检出率较低,并且发现贝母对镉的富集系数高达 150%。蔡夏燕等<sup>[61]</sup>对 13 批次浙贝母中砷、镉、铜、汞、铅的含量测定发现,77%的样品中镉含量高于《药用植物及其制剂进出口绿色行业标准》所规定的 0.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,有 3 批次的贝母中砷含量较高。李守娟等<sup>[62]</sup>系统研究了长三角地区浙贝母重金属含量,发现除镉和铬外,浙贝母植株不同部位重金属含量表现为叶、茎显著高于鳞茎。由于

重金属在植株中迁移和富集能力的差异,浙贝母植株的地上部分对铬、砷和铅的富集能力较低,对铜、锌和镉的富集能力相对较强。此外,土壤中的酸碱性和有机质含量也会对贝母中重金属含量产生影响。随着土壤碱性增大,土壤胶体负电荷增加,  $\text{H}^+$  的竞争能力减弱,使重金属被结合得更牢固,从而贝母可利用的镉元素大大降低<sup>[63]</sup>。另一方面土壤中有有机质对镉的有效性影响也较大,因为有机质具有大量的官能团,可以与镉等重金属离子结合,更重要的是,有机质分解形成的小分子有机酸、腐殖酸等可与镉结合形成稳定的络合物,从而降低镉的活动性<sup>[64]</sup>,进而降低贝母鳞茎中的镉含量。

贝母因其独特的生物属性,导致易在酸性土壤中富集重金属元素,尤其是对镉的富集,因此在贝母种植前调查土壤的重金属背景含量,在清洁级土壤中种植能有效减少贝母中重金属的含量,另外在种植过程中增加有机质含量,提高土壤 pH 也能降低贝母鳞茎中重金属含量。

### 3.2 重金属检测方法

重金属检测主要包含样品前处理和仪器检测两方面,样品前处理常用的方法有消解法、固相萃取法、液相萃取法等;检测技术主要包括原子光谱技术、电感耦合等离子体质谱技术以及紫外分光光度计技术。已有研究人员将微波消解技术结合电感耦合等离子体发射光谱法应用在贝母重金属检测当中,该方法具有抗干扰性强、线性范围广、能准确快速地同时测定多种元素等优点<sup>[59]</sup>。另外随技术的发展,电化学分析技术、生物传感器技术以及免疫检测技术为主的快速检测技术也在重金属检测中应用,如孟清君<sup>[65]</sup>使用多元量子点荧光对食品药品原料中重金属的快速检测,提高了对铅、铜、汞等元素的检出效率。表 2<sup>[4,66-70]</sup>总结了目前常用的重金属检测方法及其特点。

## 4 总结及建议

### 4.1 加强贝母种植过程中农药登记管理

农药登记能有效防控农药安全风险,提高农药使用过程中的有效性、安全性,保障绿色可持续发展。我国贝母种植面积广泛,环境差异极大,病虫害问题也各有不同,为了确保贝母种植过程中“有药”可用,可以从以下 3 个方面开展相关工作:第一,调研贝母种植过程中普遍施用的农药品种,如使用频率高的农药种类、防治对象及使用量等,从而优先开展“农药残留风险高”的贝母的农药登记工作;第二,在登记农药种类上,优先选择高效、低风险的新型药物制剂,从而保障贝母种植过程中的绿色、安全、优质生产;第三,加强贝母农药残留施用相关应用技术研究,科学制定中药材农药使用规范,联合不同中药材的道地产区,分区分片进行专项农药登记试验,丰富农药登记数据库,指导农民用药。

表 2 中药材中重金属检测方法及其特点  
Table 2 Detection method and characteristics of heavy metals in traditional chinese medicinal materials

检测方法	特点	适用元素
原子吸收分光光度法	石墨炉法、氢化物法、冷蒸气吸收法、火焰法	铅、镉、砷、汞、铜
电感耦合等离子体质谱法	优: 离子化能力较高, 高灵敏度、分辨率高, 可连续地测定多种金属元素 缺: 易受到污染, 仪器价格昂贵	铅、镉、砷、汞、铜
高效液相-电感耦合等离子体质谱法	分离效率高、检出限低、线性范围宽、能跟踪多种元素及同位素信号, 可对不同形态的痕量元素同时进行分析	汞和砷的形态及其价态
比色法	准确性低, 多用来普查重金属污染程度	铅、镉、砷、汞、铜
原子吸收光谱法	氯化物-原子吸收法: 检测限更低, 不易受干扰, 但需专门的氢化物发生器, 能测定的重金属元素偏少 冷原子吸收法: 仅适用于检测汞元素 优: 设备简单、方法可靠、重现性好、可同时检出中药材中大部分重金属	铅、镉、砷、汞、铜
紫外分光光度法	缺: 干扰因素较多、选择性较差	镉、铅、汞
原子荧光光度法	优: 精确度较高, 不需分离、富集等步骤 缺: 只对特殊金属离子有巧光效应	具有荧光效应的金属离子
纳米探针技术	高灵敏度、高选择性、成本低、设备简单	铅、镉、砷、汞、铜等重金属元素
重金属离子免疫传感器	省时、省力、费用低廉、便于携带、易于操作	铅、镉、砷、汞、铜等重金属元素
近红外漫反射光谱法	检测速度快、样品预处理简单、对样品无污染	铅、镉、砷、汞、铜等重金属元素

#### 4.2 建立稳定可靠、经济高效的分析方法

灵敏、准确、高通量的检测方法是保障贝母质量安全的有效手段。贝母因其基质复杂给农药残留检测带来障碍, 亟需开展与之相适应的复杂基质中痕量农药残留前处理方法研究。目前常用农药残留检测方法主要是基于色谱质谱-串联技术, 随着高分辨质谱技术的发展, 越来越多的高通量检测方法也应用在农药残留检测中。酶抑制法、免疫分析法和生物传感器作为农药残留快速检测技术, 在日常监测中发挥着越来越重要的作用, 可将这类检测技术在贝母日常监测中进行应用, 使贝母农药残留检测朝着处理更加快速、检测更加便捷、结果更加准确的方向发展, 从而推动中药材农药残留的分析检测技术日趋成熟完善。

#### 4.3 制定和完善相关标准和制度

随着中药材研究现代化进程加速, 贝母作为药用及保健品原料在我国应用广泛, 但贝母中农药残留和重金属残留及掺杂掺假问题亟待解决, 当前我国在相关规范、标准制定方面都亟需完善, 有效衔接并加快建立贝母质量保证体系, 确立合乎我国国情的贝母生产管理办法, 从而为贝母中农药残留检测标准的修订与完善提供科学依据, 为贝母的高质、高效、优产保驾护航。

#### 参考文献

- [1] CHEN T, ZHONG F, YAO C, *et al.* A systematic review on traditional uses, sources, phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics, and

- toxicity of *Fritillariae cirrhosae Bulbus* [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020, 2020(5): 1-26
- [2] 赵学敏. 本草纲目拾遗[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1983.  
ZHAO XM. *Supplements to compendium of materia medica* [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1983.
- [3] CUI M, CHEN S, WANG H, *et al.* Metabolic profiling investigation of *Fritillaria thunbergii* Miq. by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Food Drug Anal*, 2018, 26(1): 337-347.
- [4] 国家药典委员会. 《中华人民共和国药典》2020年版四部通则[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2019.  
Compiled by the National Pharmacopoeia Commission. The four general rules of the 2020 edition of the Pharmacopoeia of the People's Republic of China [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2019.
- [5] 中华人民共和国国家卫生健康委员会[DB/OL]. <http://www.nhc.gov.cn/> [2021-07-26].  
National Health Commission of the People's Republic of China [DB/OL]. <http://www.nhc.gov.cn/> [2021-07-26].
- [6] 特殊食品信息查询平台[DB/OL]. <http://tsspxx.gsxt.gov.cn/bjpb/bjpbaindex.xhtml> [2021-11-20].  
Special Food Information Query Platform [DB/OL]. <http://tsspxx.gsxt.gov.cn/bjpb/bjpbaindex.xhtml> [2021-11-20].
- [7] 付丽梅. 平贝母药用功效和市场价格分析[J]. *中国林副特产*, 2017, (2): 67-68.  
FU LM. Analysis of medicinal efficacy and market price of Ping *Fritillaria* [J]. *Forest By-Prod Spec China*, 2017, (2): 67-68.
- [8] 刘薇, 张文娟, 林丽君, 等. 我国川贝母的质量分析[J]. *中国药学杂志*, 2015, 50(4): 305-309.  
LIU W, ZHANG WJ, LIN LJ, *et al.* Quality analysis of *Fritillariae*

- cirrhosae Bulbus* [J]. *Chin Pharm J*, 2015, 50(4): 305–309.
- [9] 马靖. 栽培川贝母品质调控技术的初步研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2015.  
MA J. Preliminary investigation on quality control of *Fritillaria cirrhosa* D. Don cultivation [D]. Chengdu: Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, 2015.
- [10] 王丽. 川贝母新资源太白贝母药效及质量标准研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.  
WANG L. Preliminary study and quality standard evaluation of *Fritillaria taipaiensis* [D]. Chongqing: Southwest University, 2012.
- [11] 张萍, 李宁新, 李明华, 等. 2019年全国中药材及饮片质量分析报告[J]. 中国现代中药, 2020, 22(5): 663–671.  
ZHANG P, LI NX, LI MH, et al. Report of supervision and quality of chinese materia medica and decoction pieces in 2019 [J]. *Mod Chin Med*, 2020, 22(5): 663–671.
- [12] 孙海峰, 沈莹, 宁荣彬, 等. 防治平贝母菌核病的药剂筛选及田间应用[J]. 农药, 2019, 58(2): 141–144.  
SUN HF, SHEN Y, NING RB, et al. Screening and field application of pesticides for preventing and treating sclerotium disease of *Fritillaria*. [J]. *Agrochemicals*, 2019, 58(2): 141–144.
- [13] 朱瑞玮, 郑春江. 平贝母锈病的发病特点及防治措施[J]. 中国植保导刊, 2008, 28(12): 32–33.  
ZHU RW, ZHENG CJ. Occurrence characteristics and control measures of *Fritillaria vulgaris* rust [J]. *Chin Plant Prot*, 2008, 28(12): 32–33.
- [14] 耿昭, 李小红, 荀琰, 等. QuEChERS法结合气相色谱-串联质谱法测定贝母类中药中53种农药残留[J]. 中草药, 2020, 51(20): 5337–5347.  
GENG Z, LI XH, GOU Y, et al. Determination of 53 pesticide residues in different category of *Fritillaria* by QuEChERS and GC-MS/MS [J]. *Chin Tradit Herb Drug*, 2020, 51(20): 5337–5347.
- [15] 李晓丹. 三唑类杀菌剂在菊花、贝母及动物性食品中检测方法探究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.  
LI XD. Study on detection methods of triazole fungicides in chrysanthemum, *Fritillaries* and animal-derived foods [D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2019.
- [16] 俞建忠, 苍涛, 戴芬, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定浙贝母中6种农药残留[J]. 农药学报, 2018, 20(3): 370–376.  
YU JZ, CANG T, DAI F, et al. Determination of 6 pesticides residues in *Fritillaria thunbergii* by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Pesti Sci*, 2018, 20(3): 370–376.
- [17] 方翠芬, 张文婷, 马临科, 等. 浙贝母中多菌灵残留量测定及急性膳食摄入风险评估[J]. 中成药, 2018, 40(1): 234–236.  
FANG CF, ZHANG WT, MA LK, et al. Determination of carbendazim residues in *Fritillaria zheiensis* and risk assessment of acute dietary intake [J]. *Chin Tradit Pat Med*, 2018, 40(1): 234–236.
- [18] 王娟, 范丽丽, 吴加伦. 气相色谱法测定元胡、浙贝母和白芍中噻霉胺残留[J]. 农药学报, 2016, 18(5): 664–668.  
WANG J, FAN LL, WU JL. Determination of pyrimethanil residue in *Corydalis yanhusuo*, *Fritillaria thunbergii* and *Paeonia lactiflora* by gas chromatography [J]. *Chin J Pesti Sci*, 2016, 18(5): 664–668.
- [19] 李家春, 伍静玲, 秦建平, 等. 基于QuEChERS法-超高效液相色谱-串联质谱法的5种中药材中35种有机磷农药残留量的快速分析[J]. 药物分析杂志, 2016, 36(1): 122–128.  
LI JC, WU JL, QIN JP, et al. Rapid determination of 35 organophosphorus pesticide residues in five kinds of traditional Chinese medicines by QuEChERS and UPLC-MS/MS [J]. *J Pharm Anal*, 2016, 36(1): 122–128.
- [20] 陈才军, 吴纤操, 许景景, 等. 浙贝母中有机氯农药残留量和二氧化硫残留量分析[J]. 中国药业, 2014, 23(24): 65–67.  
CHEN CJ, WU QS, XU JJ, et al. Determination of residues of organo-chlorine pesticide and sulfur dioxide in *Fritillaria thunbergii* Miq [J]. *China Pharm*, 2014, 23(24): 65–67.
- [21] 马临科, 李文庭, 赵维良. 高效液相-质谱联用法测定浙贝母中12种农药残留成分[J]. 中草药, 2014, 45(6): 849–853.  
MA LK, LI WT, ZHAO WL. Determination of 12 kinds of pesticide residues in *Fritillariae thunbergii Bulbus* by HPLC-MS [J]. *Chin Tradit Herb Drug*, 2014, 45(6): 849–853.
- [22] 李鑫健, 方翠芬, 马临科, 等. 气相色谱-质谱联用法测定浙贝母中20种农药残留[J]. 药物分析杂志, 2012, 32(3): 419–423.  
LI XJ, FANG CF, MA LK, et al. GC-MS simultaneous determination of 20 pesticide residues in *Fritillariae thunbergii Bulbus* [J]. *J Pharm Anal*, 2012, 32(3): 419–423.
- [23] 盛振华, 吴君金, 卢林, 等. 分散固相萃取-在线凝胶色谱串联质谱法快速检测鲜浙贝母中17种农药残留[J]. 中华中医药学刊, 2011, 29(8): 1856–1858.  
SHENG ZH, WU JJ, LU L, et al. Determination of 17 pesticide residues in fresh *Fritillaria thunbergii* by QuEChERS cleanup and GPC-GC/MS [J]. *Chin J Tradit Chin Med Pharm*, 2011, 29(8): 1856–1858.
- [24] ZHANG Q, GE Q, ZHANG Z, et al. Determination and dietary intake risk assessment of pesticide residues in *Fritillariae thunbergii Bulbs* and cultivated soils [J]. *J AOAC Int*, 2021, 104(2): 404–412.
- [25] 中国农药信息网 [DB/OL]. <http://www.chinapesticide.org.cn> [2021-05-18].  
China Pesticide Information Network [DB/OL]. <http://www.chinapesticide.org.cn> [2021-05-18].
- [26] 孙彩霞, 宗侃侃, 戴芬, 等. 浙贝母国内外农药残留限量标准比较[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(9): 1607–1609.  
SUN CX, ZONG KK, DAI F, et al. Comparison of pesticide residue limit standards of *Fritillaria thunbergii* at home and abroad [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2018, 59(9): 1607–1609.
- [27] 刘姣, 刘雪峰, 樊宝娟, 等. 市售食品用农药残留快检试剂盒及仪器对18种中药材适用性验证[J]. 中成药, 2017, 39(2): 407–410.  
LIU J, LIU XF, FAN BJ, et al. Applicability verification of commercially available pesticide residue rapid test kits and instruments for 18 kinds of Chinese herbal medicines [J]. *Chin Tradit Pat Med*, 2017, 39(2): 407–410.
- [28] PIAO YZ, KIM YJ, KIM YA, et al. Development of ELISAs for the class-specific determination of organophosphorus pesticides [J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57(21): 10004–10013.
- [29] 罗毅波, 陈心启. 中国横断山区及其邻近地区贝母属的研究(二)[J]. 植物分类学报, 1996, (5): 547–553.  
LUO YB, CHEN XQ. A revision of *Fritillaria* L. (liliaceae) in the hengduan mountains and adjacent regions, china(II) [J]. *J Syst Evol*, 1996, (5): 547–553.
- [30] 郝丽红. 新疆贝母属植物资源收集、评价及伊贝母花芽分化研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.  
HAO LH. Resources collection and evaluation of xinjiang *Fritillaria* L. and research of flower bud differentiation of *F. pallidiflora schrenk*. [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2017.
- [31] 罗丽, 李会娟, 魏雪琴, 等. 新疆地区贝母属物种亲缘关系研究[J]. 中国现代中药, 2018, 20(5): 502–509.

- LUO L, LI HJ, WEI XP, *et al.* Study on the phylogenetic relationship of *Fritillaria* L. from Xinjiang [J]. *Mod Chin Med*, 2018, 20(5): 502–509.
- [32] 吴小婷. 川贝母的真伪鉴别[J]. *海峡药学*, 2014, 26(6): 39–41.
- WU XT. Authenticity identification of *Fritillaria* chuan [J]. *Strait Pharm J*, 2014, 26(6): 39–41.
- [33] 张迎春, 王燕华. 川贝母真伪鉴别[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2011, 13(11): 220–221.
- ZHANG YC, WANG YH. The research progress of medicinal plants *Fritillaria* [J]. *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*, 2011, 13(11): 220–221.
- [34] 于国强, 王玲玲, 王琳玲, 等. 贝母类药材的 TLC 鉴别[J]. *华西药学期刊*, 2016, 31(4): 439–440.
- YU GQ, WANG LL, WANG LL, *et al.* TLC Identification of *Fritillaria* [J]. *West China J Pharm Sci*, 2016, 31(4): 439–440.
- [35] 龚盼竹, 谢慧敏, 谢慧滢, 等. 暗紫贝母与卷叶贝母的栽培品 HPLC-ELSD 指纹图谱及对对比分析研究[J]. *华西药学期刊*, 2019, 34(5): 485–489.
- GONG PZ, XIE HM, XIE HG, *et al.* Study on establishment and comparative analysis of fingerprints of the cultivated *Fritillaria unibracteata* and the cultivated *F. cirrhosa* by HPLC-ELSD [J]. *West China J Pharm Sci*, 2019, 34(5): 485–489.
- [36] 王玲玲, 王琳玲, 于国强, 等. 伊贝母的 HPLC 指纹图谱研究[J]. *华西药学期刊*, 2016, 31(3): 301–304.
- WANG LL, WANG LL, YU GQ, *et al.* Study on the HPLC fingerprints of *Fritillaria pallidiflora*. [J]. *West China J Pharm Sci*, 2016, 31(3): 301–304.
- [37] 王琳玲, 王玲玲, 于国强, 等. 川贝母的 HPLC 指纹图谱研究[J]. *华西药学期刊*, 2016, 31(5): 497–501.
- WANG LL, WANG LL, YU GQ, *et al.* Study on the HPLC fingerprint of *Fritillariae cirrhosae*. [J]. *West China J Pharm Sci*, 2016, 31(5): 497–501.
- [38] LUO D, LIU Y, WANG Y, *et al.* Rapid identification of *Fritillariae cirrhosae Bulbus* and its adulterants by UPLC-ELSD fingerprint combined with chemometrics methods [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2018, 76: 46–51.
- [39] 贺美艳, 陈俊, 张小龙. HPLC 测定贝母中尿嘧啶和 3 种核苷的含量及其在品种鉴定中的应用[J]. *中国现代应用药学*, 2014, 31(5): 555–559.
- HE MY, CHEN J, ZHANG XL. HPLC quantitative analysis of uracil and three nucleotides in *Fritillariae bulbus* and the application for variety discrimination [J]. *Chin J Mod Appl Pharm*, 2014, 31(5): 555–559.
- [40] LIU JL, XUE C, ZAI FIAI P, *et al.* Investigation on pyrolysis-gas chromatography fingerprint with pattern recognition for *Fritillaria bulbus*. [J]. *J Anal Appl Pyrol*, 2020, 150: 104879.
- [41] DUAN B, WANG L, DAI X, *et al.* Identification and quantitative analysis of nucleosides and nucleobases in aqueous extracts of *Fritillaria cirrhosa* D. Don. using HPLC-DAD and HPLC-ESI-MS [J]. *Anal Lett*, 2011, 44(15): 2491–2502.
- [42] GUI ZX, HU B, SHI ZQ, *et al.* Rapid identification of plant materials by wooden-tip electrospray ionization mass spectrometry and a strategy to differentiate the bulbs of *Fritillaria* [J]. *Anal Chim Acta*, 2014, 820: 84–91.
- [43] 张娇, 王元忠, 杨维泽, 等. ATR-FTIR 和 UV-Vis 结合数据融合策略鉴别滇黄精产地[J]. *光谱学与光谱分析*, 2021, 41(5): 1410–1416.
- ZHANG J, WANG YZ, YANG WZ, *et al.* Data fusion of ATR-FTIR and UV-Vis spectra to identify the origin of *Polygonatum kingianum*. [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2021, 41(5): 1410–1416.
- [44] 高鸿彬, 宋洪杰. 甘草及其伪品刺果甘草的近红外光谱法快速无损鉴别[J]. *时珍国医国药*, 2021, 32(1): 97–99.
- GAO HB, SONG HJ. Rapid and nondestructive identification of *Glycyrrhiza uralensis* and its adulterants *Gly-cyrrhiza pallidiflora* by near-infrared spectroscopy [J]. *Lishizhen Med Mater Med*, 2021, 32(1): 97–99.
- [45] 张璐, 茹晨雷, 殷文俊, 等. 基于近红外外光谱成像结合分水岭算法鉴别酸枣仁药材的产地[J]. *药物分析杂志*, 2021, 41(4): 726–734.
- ZHANG L, RU CL, YIN WJ, *et al.* Identification of *Ziziphi spinosae* semen from different habitats based on near-infrared hyperspectral imaging technology and watershed algorithm [J]. *J Pharm Anal*, 2021, 41(4): 726–734.
- [46] 刘晶晶, 张贵君, 郑靖, 等. 川贝母及其提取物红外光谱鉴别[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2018, 20(8): 51–54.
- LIU JJ, ZHANG GJ, ZHENG J, *et al.* Infrared spectroscopy of *Fritillaria cirrhosa* and its extracts [J]. *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*, 2018, 20(8): 51–54.
- [47] 杨复森, 武卫红, 王宁, 等. 基于 AOTF-近红外光谱技术的川贝母药材即时快速鉴别研究[J]. *中成药*, 2013, 35(1): 135–140.
- YANG FS, WU WH, WANG N, *et al.* An instant identification of *Fritillariae cirrhosae Bulbus* by AOTF-near infrared spectroscopy [J]. *Chin Tradit Pat Med*, 2013, 35(1): 135–140.
- [48] 赵懿滢, 朱素素, 何娟, 等. 激光诱导击穿光谱鉴别硫熏浙贝母[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(11): 3558–3562.
- ZHAO YY, ZHU SS, HE J, *et al.* Identification of *Fritillaria thunbergii* treated by sulfur fumigation using laser-induced breakdown spectroscopy [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2018, 38(11): 3558–3562.
- [49] 喻莹, 陈建伟, 陈志禹. 分子生物技术在川贝母鉴别中的应用展望[J]. *上海医药*, 2021, 42(5): 73–76.
- YU Y, CHEN JW, CHEN ZY. Prospect of the application of molecular biotechnology in identification of *Fritillaria cirrhosa* [J]. *Shanghai Med Pharm J*, 2021, 42(5): 73–76.
- [50] 刘香香, 李靖, 张煜彬, 等. PCR 法快速鉴别川贝母真伪[J]. *药物分析杂志*, 2019, 39(10): 1844–1851.
- LIU XX, LI J, ZHANG YB, *et al.* Rapid identification of *Fritillariae cirrhosae Bulbus* by polymerase chain reaction (PCR) method [J]. *J Pharm Anal*, 2019, 39(10): 1844–1851.
- [51] 赵仲麟, 常志远, 袁超, 等. PCR-RFLP 定量检测川贝母真伪的研究[J]. *河南农业大学学报*, 2018, 52(2): 249–253.
- ZHAO ZL, CHANG ZY, YUAN C, *et al.* Authentication of *Fritillariae cirrhosae Bulbus* by PCR-RFLP [J]. *J Henan Agric Univ*, 2018, 52(2): 249–253.
- [52] 兰青阔, 赵新, 陈锐, 等. 基于 LAMP 的中药材川贝母真伪鉴别方法的建立[J]. *药物分析杂志*, 2019, 39(3): 551–556.
- LAN QK, ZHAO X, CHEN R, *et al.* Authentication of *Fritillaria cirrhosa* based on loop-mediate isothermal amplification [J]. *J Pharm Anal*, 2019, 39(3): 551–556.
- [53] 潘杰, 陈虹, 冯睿, 等. 杂交探针技术结合熔解曲线鉴别川贝母与伊贝母的研究[J]. *中药新药与临床药理*, 2019, 30(3): 344–348.
- PAN J, CHEN H, FENG R, *et al.* Identification of *Fritillaria cirrhosa* and *Fritillaria pallidiflora* base on hybridization probe coupled with melting curve analysis [J]. *Tradit Chin Drug Res Pharmacol*, 2019, 30(3): 344–348.
- [54] 吴莹, 萧冈. 扫描电镜对中药饮片浙贝母的真伪鉴别[J]. *湖北中医杂志*, 2017, 39(1): 57–59.



- WU Y, XIAO M. Scanning electron microscope to identify the authenticity of Chinese herbal medicine *Fritillaria* [J]. Hubei J Tradit Chin Med, 2017, 39(1): 57–59.
- [55] 范蓓蕾, 钱建平, 刘寿春, 等. 电子感官评价系统在肉品质量分析中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(8): 2440–2447.  
FAN BL, QIAN JP, LIU SC, *et al.* Research progress on application of electronic sensory evaluation system for meat quality [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(8): 2440–2447.
- [56] 刘瑞新, 郝小佳, 张慧杰, 等. 基于电子眼技术的中药川贝母真伪及规格的快速辨识研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(14): 3441–3451.  
LIU RX, HAO XJ, ZHANG HJ, *et al.* A rapid identification of authenticity and specifications of Chinese medicine *Fritillariae cirrhosae Bulbus* based on E-eye technology [J]. Chin J Chin Mater Med, 2020, 45(14): 3441–3451.
- [57] 冯文豪, 田亮玉, 施钧瀚, 等. 电子鼻技术应用于川贝母真伪及规格辨识的可行性分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(13): 1–12.  
FENG WH, TIAN LY, SHI JH, *et al.* Analysis on feasibility of electronic nose technology for identification of *Fritillariae cirrhosae Bulbus* from authenticity and specifications [J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2021, 27(13): 1–12.
- [58] YANG S, XIE S, XU M, *et al.* A novel method for rapid discrimination of bulbus of *Fritillaria* by using electronic nose and electronic tongue technology [J]. Anal Methods, 2015, 7(3): 943–952.
- [59] 孔繁越. 中药材重金属限量标准和农残限量标准研究及标准制定相关建议[D]. 北京: 北京中医药大学, 2017.  
KONG FY. Research on heavy metal limit standards and pesticide residue limit standards of Chinese medicinal materials and related recommendations for standard establishment [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2017.
- [60] 汪钦扬, 周志航, 张晨呈, 等. 磐安县浙贝母重金属污染调研[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(23): 34–35.  
WANG QY, ZHOU ZH, ZHANG CC, *et al.* Investigation on heavy metal pollution of *Fritillaria* in Pan'an county [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2019, 25(23): 34–35.
- [61] 蔡夏燕, 张焱新, 杜伟锋, 等. ICP-OES法测定浙贝母鲜切饮片中重金属及微量元素的含量[J]. 中华中医药学刊, 2014, 32(10): 2357–2359.  
CAI XY, ZHANG YX, DU WF, *et al.* Determination of heavy metal and trace elements in fresh-cut bulbus *Fritillaria thunbergii* slices by ICP-OES [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2014, 32(10): 2357–2359.
- [62] 李守娟, 杨磊, 陈利顶, 等. 长三角典型城郊农田土壤-浙贝母重金属迁移特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(12): 3003–3013.  
LI SJ, YANG L, CHEN LD, *et al.* Identifying the characteristics of heavy metal migration in the soil: *Fritillaria thunbergii* system of peri-urban ecosystem [J]. Res Environ Yangtze Basin, 2019, 28(12): 3003–3013.
- [63] 邹耀华, 吴加伦. “浙八味”中药材及其土壤中有毒重金属污染调查分析[J]. 中成药, 2011, 33(10): 1826–1828.  
ZOU YH, WU JL. Investigation and analysis of harmful heavy metal pollution in “Zhe bawei” Chinese medicinal materials and their soil [J]. Chin Tradit Pat Med, 2011, 33(10): 1826–1828.
- [64] 唐力, 夏静芬, 芦晨, 等. 宁波市浙贝母主产地土壤重金属形态分析及污染评价[J]. 安全与环境学报, 2017, 17(3): 1171–1176.  
TANG L, XIA JF, LU C, *et al.* On the distribution features and con-tamination situation assessment of heavy metals in Ningbo soil planting *Fritillaria thunbergii Bulbus* [J]. J Saf Environ, 2017, 17(3): 1171–1176.
- [65] 孟清君. 多元量子点荧光传感对食药中重金属的精准检测研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2020.  
MENG QJ. Study on accurate detection of heavy metals in food and medicine by multiple quantum dots fluorescence sensor [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2020.
- [66] 王影, 查琳, 杨怀雷, 等. 人参及制品中重金属研究概述[J]. 人参研究, 2019, 31(6): 47–52.  
WANG Y, ZHA L, YANG HL, *et al.* Summary on the research of heavy metals in ginseng and its products [J]. Ginseng Res, 2019, 31(6): 47–52.
- [67] 谭和平, 李怀平, 王顾希, 等. 我国中药材卫生质量标准与检测技术研究[J]. 中国测试, 2016, 42(1): 1–6.  
TAN HP, LI HP, WANG GX, *et al.* Research of hygienic quality standards and detection technology of traditional Chinese medicine [J]. Chin Measur Test Technol, 2016, 42(1): 1–6.
- [68] 张春梅, 宋杨. 中药材重金属污染现状研究进展[J]. 北京农业, 2015, (11): 76–77.  
ZHANG CM, SONG Y. Research progress on the current status of heavy metal pollution in Chinese medicinal materials [J]. Beijing Agric, 2015, (11): 76–77.
- [69] 孔德荣. 应用于中药材基因鉴别和重金属检测的新型电化学传感方法的研究[D]. 南昌: 江西中医药大学, 2019.  
KONG DR. Study on new electrochemical sensing methods for gene identification and heavy metal detection of traditional Chinese medicine [D]. Nanchang: Jiangxi University of Chinese Medicine, 2019.
- [70] 王伟伟. 应用红外光谱和化学计量学进行疾病诊断及中药重金属检测的研究[D]. 广州: 广东药学院, 2015.  
WANG WW. Study on the application of infrared spectroscopy and chemometrics for disease diagnosis and detection of heavy metals in traditional Chinese medicine [D]. Guangzhou: Guangdong Pharmaceutical University, 2015.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

## 作者简介



陈德勇, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工与安全。  
E-mail: chendy0824@163.com



孔志强, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农药残留与环境毒理。  
E-mail: kongzhiqiang@caas.cn



侯旭杰, 教授, 主要研究方向为农产品深加工技术。  
E-mail: 911395719@qq.com