

药食同源当归中农药残留及膳食暴露评估研究现状

李金娟^{1,2}, 李 婷^{1,2}, 陶自为³, 白 滨^{2,4*}, 栗孟飞^{5*}

1. 甘肃省农业科学院畜牧与绿色农业研究所(农业质量标准与检测技术研究所), 甘肃 兰州 730070
2. 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(兰州), 甘肃 兰州 730070
3. 广西科技大学计算机科学与技术学院, 广西 柳州 545006
4. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070
5. 甘肃农业大学/干旱生境作物学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730070

摘要: 当归 *Angelica sinensis* 作为药食同源中药, 被广泛应用于药品、食品和化妆品等领域, 其质量安全是否可控与人民饮食用药安全紧密相关。然而, 当归种植过程中农残检出率较高且种类繁多、禁限用农药时有检出等问题日趋严重, 不仅影响了其质量与药效, 更对用药安全带来隐患。综述了当归病虫害发生及农药使用、农药残留特点、膳食暴露评估技术及其在当归农药残留风险评估中的应用等方面的研究进展, 并针对当归农药残留暴露评估体系存在的问题提出合理建议, 旨在为建立当归膳食暴露评估模型、促进质量安全风险评估、制定和修改农药残留限量标准等提供重要参考。

关键词: 当归; 农药残留; 膳食暴露评估; 质量安全; 药食同源

中图分类号: R282 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)22-7907-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.22.033

Research status of pesticide residues and dietary exposure assessment in medicinal and edible *Angelica sinensis*

LI Jinjuan^{1,2}, LI Ting^{1,2}, TAO Ziwei³, BAI Bin^{2,4}, LI Mengfei⁵

1. Institute of Livestock Grass and Green Agriculture (Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology), Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China
2. Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products (Lanzhou), Lanzhou 730070, China
3. School of Computer Science and Technology, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, China
4. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China
5. State Key Laboratory of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Danggui (*Angelica sinensis*), a medicinal and edible agricultural product, has been widely used in the pharmaceutical, food, and cosmetics industries, and the controllability of quality and safety is closely related to the safety of people's diet and medication. However, several problems such as high detection rate and diverse types of pesticide residues, as well as occasional detection of banned or restricted pesticides have become increasingly serious during the cultivation of *A. sinensis* in recent years, which not only affect the quality and efficacy, but also poses a potential danger to medication safety. The research progresses on the occurrence of diseases and pests as well as the use of pesticides, the characteristic of pesticide residues, the technique of dietary exposure assessment as well as its application in risk assessment of pesticide residues were summarized; meanwhile, some reasonable suggestions on the problems of exposure assessment system of pesticide residue in *A. sinensis* were proposed. This review aims to provide important references for the establishment of dietary exposure assessment model, the improvement of risk assessment of pesticide residues, and the drafting

收稿日期: 2024-06-11

基金项目: 甘肃省科技计划项目(21JR7RA731); 甘肃省农产品质量安全风险评估重大专项(现代寒旱农业发展资金项目); 国家重点研发计划(2022YFC3501500); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-21); 甘肃省科技厅重点研发计划(22YF7NA111); 甘肃省科技支撑项目(KJZC-2023-11)

作者简介: 李金娟(1985—), 女, 助理研究员, 主要从事农产品质量安全与检测工作。E-mail: lijjuan850506@163.com

通信作者: 白 滨(1965—), 男, 研究员, 主要从事农产品质量安全风险评估与营养品质鉴定评价研究。E-mail: gsabaibin@sina.com

栗孟飞(1980—), 男, 博士, 教授, 主要从事药用植物资源与利用研究。E-mail: lmf@gsau.edu.cn

and amendment of reference maximum limit standard of pesticide residues in *A. sinensis*.

Key words: *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels; pesticide residue; dietary exposure assessment; quality and safety; homology of medicine and food

当归 *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels 为伞形科 (Umbelliferae) 当归属多年生草本植物, 其干燥根具有补血活血、调经止痛、润肠通便等传统功效, 也呈现增强机体免疫、调节心脑血管、抗氧化等现代药理作用^[1]。当归作为我国卫生健康委员会批准的药食同源中药^[2], 有“十方九归”之称, 且民间食用历史悠久^[3]。近年来, 随着“健康中国”战略对中药大健康产业的推进, 当归作为药食同源品备受青睐, 越来越多地用于药品、食品和化妆品等领域。因此, 其质量安全是否可控与人民用药安全紧密相关。

在实际生产中, 随着当归种植面积逐渐增加和连作障碍, 农药残留问题日趋凸显, 对其质量造成了严重影响。对于外来污染物 (如农药残留) 带来的中药材质量和安全的危害, 我国政府于 2016 年颁布了《中医药发展战略规划纲要 (2016—2030 年)》, 其中, 当归被列为农药残留重点关注对象, 农药残留检测结果显示, 当归存在农药残留检出率较高且种类繁多、禁限用农药时有检出等安全隐患问题^[4]。主要原因在于: (1) 实际生产中当归农药残留限量标准尚未制定; (2) 专用农药登记缺乏, 这导致当归种植户出现“无药可用、乱用药、滥用药”等现象。因此, 掌握当归病虫害发生、加快农药登记、制定合理的农药残留限量标准、建立膳食暴露评估模型等, 将对当归种植生产和质量安全监管具有重要意义。

为了应对农药潜在危险, 全球各国、各区域以及国际组织设立了相关的法律和管理规定, 对农药进入市场前后的安全性进行了科学评估, 并逐步发展和完善评估技术^[5-6]。农药膳食暴露评估是农药残留的核心评估过程, 将对制定合理的农药残留限量标准提供重要依据^[7]。到目前为止, 有关药食同源当归的农药膳食暴露评估工作进展缓慢, 农药残留限量标准尚未制定。因此, 本文综述了当归病虫害发生及农药使用、农药残留特点、膳食暴露评估技术及其在当归农药残留风险评估中的应用等方面的研究进展, 旨在为建立当归膳食暴露评估模型、促进质量安全风险评估、制定和修改农药残留限量标准等提供重要参考。

1 当归种植过程中病虫害及农药使用现状

2022—2024 年, 通过对甘肃省当归主产区 (如岷县、渭源县和漳县等) 进行实地调研, 发现连作和不合理轮作导致病虫害普遍发生且种类较多。其中, 病害主要有麻口病 *Ditylenchus destructor*、褐斑病 *Septoria* sp.、根腐病 *Fusarium* sp.、白粉病 *Erysiphe heraclei*、炭疽病 *Anthraco*、菌核病 *Sclerotinia* sp. 等; 虫害主要有地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemberg、蛴螬 *Holotrichia diomphalia* Bates、红蜘蛛 *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval、蝼蛄 *Gryllotalpa* sp.、沟金针虫 *Pleonomus canaliculatus* Faldermann 等^[8-13]。

针对以上病虫害, 使得杀菌剂、杀虫剂和植物生长调节剂等农药普遍且频繁使用, 且农药依赖性逐渐增强, 导致农药检出种类和检出率呈现逐年上升趋势。研究发现, 当归农药残留检出率较高的农药包括甲拌磷、甲基异柳磷、甲基对硫磷、克百威等^[14]。使用农药种类及防治对象见图 1。

2 当归农药残留研究概况

在 2002 年, 董顺玲等^[21]利用反相高效液相色谱法对当归中氨基甲酸酯类农药涕灭威、呋喃丹和西维因进行了测定, 但未涉及其残留限量问题。2019 年, 王晓琳等^[22]测定了 20 批岷县当归样品中 50 种禁限用农药, 并对其进行了限量分析, 发现检出农药的检出量大部分在限量范围内。同年, 窦亚洁等^[5]针对包含当归在内的一系列中药材农药残留限量标准做了深入研究, 提出的方法与限量值被纳入到《中国药典》2015 年版的第四部分“药材和饮片检验规范”的修改草案。2021 年, 陈静梅等^[14]提倡在设定农药残留限量标准时, 应同步构建中药材及其药食同源中药材中农药残留的健康风险评价系统。2022 年, 朱仁愿等^[23]通过对比国内外中药材农药残留限量的相关标准发现, 所涵盖农药种类大约 300 种, 仅约 20% 制定了相关限量标准。以上研究显示, 有关当归农药残留和中药材限量标准, 已逐步从中药材农药残留检测技术发展至农药残留风险评估方法及限量标准制定。

通过比较国内外关于当归农药残留限量标准, 在国内, 根据 GB 2763-2021《食品安全国家标准·食

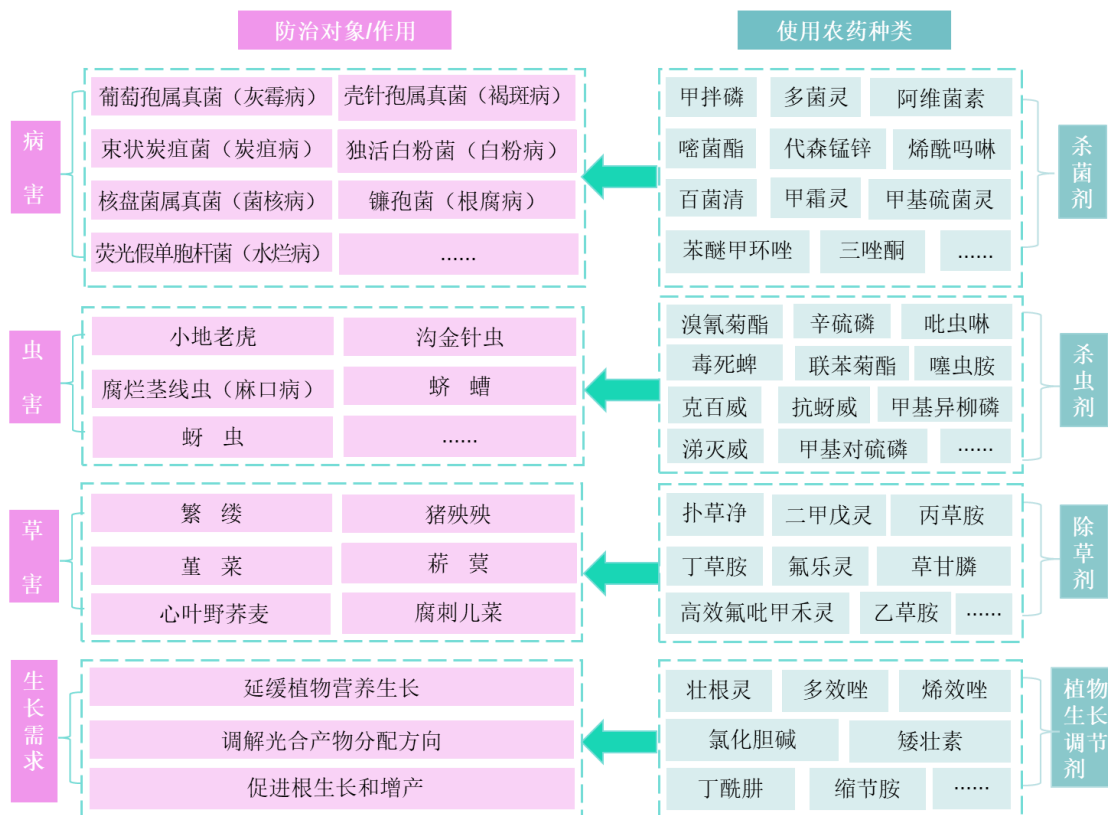


图 1 当归使用农药种类及防治对象^[15-20]

Fig. 1 Types of pesticides used in planting *A. sinensis* and their control targets^[15-20]

品中农药最大残留限量》规定，当归被列为药用植物并对使用农药进行了限量要求，主要包括胺苯磺隆、巴毒磷和丙酯杀螨醇等在内的 42 种农药^[24]。然而实际生产过程中，当归样品中检测到的农药种类远超 42 种，但《中国药典》2020 年版并没有对当归农药残留进行限定^[25]。美国和欧盟现行的植物药标准《美国药典》2021 年版与《欧洲药典》10.0 版对 70 余项农药的限量标准进行了规定，共制定了 106 种农药的最大残留限量；《日本药典》第 18 版针对 20 种中药材规定了总六六六和总滴滴涕的最大残留限量，但均未对当归农药残留限量进行明确规定^[14,26-28]。

到目前为止，针对当归仅 1 种杀菌剂异菌·氟啶胺进行了农药登记，农药登记滞后成为当归生产中“无农药可用”的直接原因^[29]；生产过程中病虫害逐渐增加，使得当归种植户选择使用在大宗农作物或其他经济作物上登记的农药，由于无科学的农药使用指引，农药乱用和滥用现象时有发生^[30]。

3 当归中农药残留特点

3.1 有机氯类农药

有机氯农药主要有滴滴涕、六六六、五氯硝基

苯、百菌清等，人体摄入后可能导致帕金森症、癌症、内分泌及生殖疾病等^[31]。早期，当归有机氯类农药超标严重。1983 年，我国禁止了滴滴涕、六六六等毒性强、难降解的有机氯类农药使用^[32]。2006—2007 年，研究发现当归中六六六和滴滴涕仍超标^[32-33]。2019 年，对国内 10 多个主产地的当归进行检测，发现六六六、滴滴涕、五氯硝基苯等有机氯农药仍存在，但未超出《中国药典》2015 年版限量标准^[34]。以上文献表明，近年来针对当归种植过程中有机氯类农药的研究逐渐减少，侧面反映该类农药使用量下降，但实际生产中尚有使用，因此，该类用药的安全使用和限量检测仍需关注。

3.2 有机磷类农药

有机磷农药主要有乐果、敌百虫、敌敌畏、马拉硫磷、辛硫磷等，人体摄入后可能引起神经毒性^[35]。20 世纪 90 年代后，由于有机氯类农药的禁售禁用，有机磷类农药逐渐成为当归病虫害防治的主导农药。2019 年，对甘肃岷县不同区域的当归进行农残检测，发现辛硫磷、甲拌磷、甲基异硫磷等多种有机磷类农药均存在，除辛硫磷外，其余农药检出量均较高^[23]；根据《中国药典》2020 年版限量标

准, 甲拌磷严重超标^[25]。2021 年至今, 多项研究发现当归中辛硫磷、多菌灵、甲拌磷等多种有机磷类农药残留持续发生^[28,36-37]; 2024 年, 对不同来源的 10 种中药材进行检测, 发现当归中有机磷类农药检出数量高达 6 种, 仅次于陈皮和白芷, 且禁限用农药甲拌磷检出率较高^[37]。根据农残检测数据显示, 近年来有机磷类农药污染现象普遍且超标率较高, 其中甲拌磷等禁限用农药超标尤为严重。因此, 在实际生产中, 应对该类农药的使用引起高度重视并进行紧急整治。

3.3 氨基甲酸酯类农药

氨基甲酸酯类农药主要有抗芽威、克百威、灭多威、茚虫威等, 其毒性低、易分解且残留量少^[38]。早在 2002 年, 建立了当归等 4 种中药材氨基甲酸酯类农药 (涕灭威、呋喃丹和西维因等) 的反相高效液相色谱分析方法^[21]。之后当归中该类农药的报道较少, 侧面反映此类药物未出现残留危害性。2017 年, 对 9 批当归样品应用气相色谱-质谱联用检测, 检出仲丁威和抗蚜威, 但含量均小于限量值^[39]。2019 年, 对当归等 5 种中药材的检测均未发现氨基甲酸酯类农药^[40]; 但对 182 批次当归样品进行检测, 发现灭多威严重超标^[5]。以上文献表明, 当归中氨基甲酸酯类农药虽检出率低, 但仍存在个别种类 (如灭多威) 超标问题。

3.4 拟除虫菊酯类农药

拟除虫菊酯类农药主要有高效氯氰菊酯、氯氰菊酯、溴氰菊酯等, 是人工合成的一类模拟天然除虫菊素的杀虫剂, 无致癌、致畸性^[41]。截至目前, 仅有应用气相色谱-串联质谱一测多评的方法检测联苯菊酯、甲氰菊酯和溴氰菊酯 3 种在当归中的残留量, 但均未检出^[42]。以上文献表明, 有关拟除虫菊酯类农药超标问题的研究较少, 从侧面反映该类农药残留危害性不高, 在当归病虫害防控中具有潜在的推广价值。

3.5 植物生长调节剂

植物生长调节剂主要有多效唑、丁酰肼、矮壮素等, 一般从微生物中天然提取或由人工合成。研究表明, 植物生长调节剂对根及根茎类中药材的农业增产具有重要作用, 因此, 近年来其在当归中残留超标问题逐渐凸显^[43]。通过测定当归中多效唑、丁酰肼等 5 种植物生长调节剂, 发现丁酰肼严重超标^[44]。对 30 批来自岷县、渭源县以及陇南地区当归进行 23 种植物生长调节剂检测, 发现 4-硝基苯

酚钠超标^[45]。以上文献表明, 植物生长调节剂残留问题日益突出, 在实际生产中, 应对该类农药的安全使用和限量检测加以关注。

综上所述, 当归病虫害种类较多, 使用农药也各不相同, 使得农药多残留现象普遍存在, 禁限用农药时有检出。目前, 农药残留由有机氯类转变为有机磷类, 氨基甲酸酯类时有超标, 拟除虫菊酯类超标鲜见报道, 植物生长调节剂检出率较高, 但仅有少数超标。

4 膳食暴露评估及其在当归农药残留评估中的应用

当归种植过程中农药不规范使用不仅会导致农药残留超标、环境污染, 还给人类健康造成潜在危害。因此, 明确当归农药残留状况并进行风险评估势在必行, 可为当归安全生产、品质监管以及最大残留限量 (maximum residue limit, MRL) 提供科学依据。

4.1 农药膳食暴露评估方法和模型

选用合适的暴露评估方法对当归药材进行安全风险评估, 并制定合理的危害物限量标准, 对进一步提高当归质量安全具有重要意义。根据文献报道, 目前有 3 种常用的农药残留膳食暴露评估模型 (确定性模型、概率性模型、累积性模型), 见图 2^[7,46-49]。

目前, 我国主要采用点评估法, 该方法已被农药残留联席会议和其他机构广泛应用^[37-48,50]。具体可分为慢性膳食暴露评估和急性膳食暴露评估, 前者是指每日都发生的暴露并可能延续终身; 后者是指 1 d 内的暴露。慢性膳食暴露量 (chronic dietary exposure portion, EXPc) 和急性膳食暴露量 (acute dietary exposure portion, EXPa) 根据以下公式进行计算。

$$\text{EXPc} = (\text{STMR} \times \text{P}) / \text{bw}$$

$$\text{EXPa} = (\text{HR} \times \text{LP}) / \text{bw}$$

STMR 代表经测定所得的农药残留量平均值; bw 是以 60 kg 计的人体平均体质量; HR 代表测定所得的农药残留量最大值; 参照《中国药典》2020 年版中当归的日平均最大消费量 (6~12 g), P 为当归消费量的中值 (9 g), LP 代表当归的最大消费量 (12 g)^[25]

慢性膳食摄入风险 (chronic dietary intake risk, %ADI) 和急性膳食摄入风险 (acute dietary intake risk, %ARfD) 根据以下公式进行计算。

$$\% \text{ADI} = \text{EXPc} \times 100 / \text{ADI}$$

$$\% \text{ARfD} = \text{EXPa} \times 100 / \text{ARfD}$$

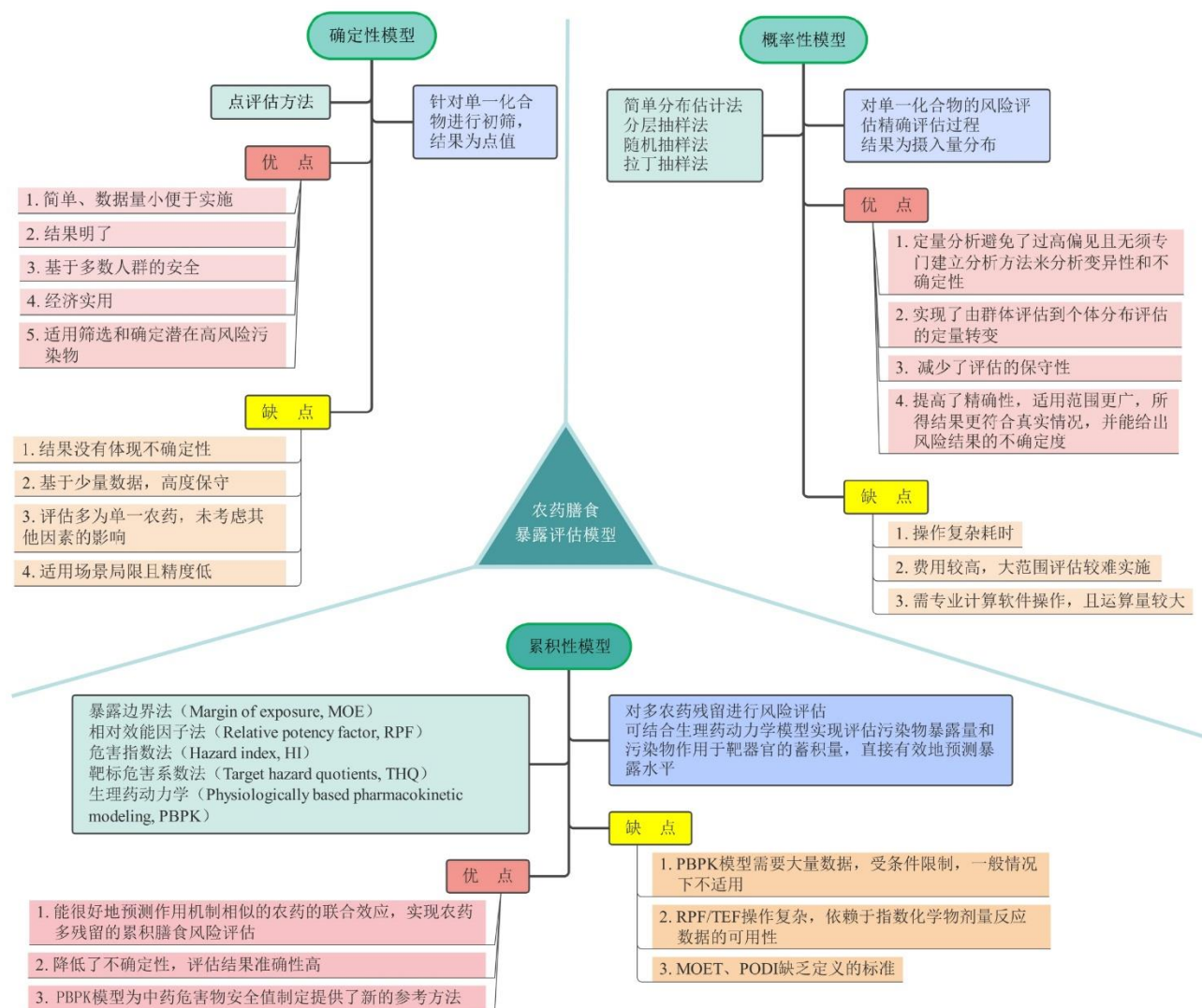


图 2 农药残留膳食暴露评估方法和模型比较

Fig. 2 Dietary exposure assessment methods of pesticide residues and comparison of models

当 $\%ADI \leq 100\%$ 或 $\%ARfD \leq 100\%$ 时，表示慢性或急性摄入风险在可接受范围内；反之，则摄入风险为不可接受。ADI (acceptable daily intake) 代表每日允许摄入量。ARfD (acute reference dose) 代表急性参考剂量，由世界卫生组织数据库^[51]获得。

4.2 农药膳食暴露评估在当归农药残留质量控制中的应用

早期，有关中药材农药膳食暴露评估的研究较少。近年来，针对中药材农药残留风险评估工作已逐步展开，但主要参考食品风险评估的方法和模式。然而，中药材在消费数量、频次、摄入方式等方面，均与食品有显著区别，因此，急需遵循中药材“药食兼用”原则，构建适合中药材的农药残留风险评估体系。

由于当归农药膳食暴露评估工作起步较晚，直到 2024 年，才有应用点评估法对当归中检出的 6 种有机磷类农药（如甲拌磷、甲基异硫磷、辛硫磷等）进行膳食暴露风险评估，发现各有机磷类农药的慢性、急性膳食暴露风险均处于人体可接受范围，但甲拌磷 $\%ADI$ 和 $\%ARfD$ 较高^[37]；应用点评估法对当归中 12 种农药（毒死蜱、啉菌酯和甲基异硫磷等）残留进行膳食暴露风险评估，发现各农药的慢性、急性摄入风险，以及累积风险均处于可接受范围^[48]。以上文献表明，尽管评估结果均在可接受范围，但大部分农药缺少 MRL。因此，在当归实际生产过程中，应重点监控中等风险农药，从种植源头规范农药科学使用，促进质量安全控制和农药残留限量标准的制定。

5 结语

综合文献和生产实际调研,农药使用不规范导致的农药残留超标问题制约当归质量和进出口贸易。尽管前人在当归农药残留暴露风险评估方面已取得一定的进展,但仍存在农药登记滞后、残留限量标准尚未制定等问题。因此,建议从以下几个方面开展研究。

5.1 降低当归农药残留

一方面,了解当归病虫害特点,选用高效低毒生物农药,采用科学合理的使用方法,降低农药使用量;另一方面,提高农药残留检测技术水平;此外,积极推进当归 GAP 种植,从种植源头防控病虫害发生。

5.2 加快当归农药登记

通过研制和登记高效低毒、环保无害、适于当归专用的生物农药;同时,正确引导合理使用农药,避免出现“无药可用、乱用药、滥用药”等现象。

5.3 制定当归农药限量标准

根据国家食品和药品标准,借助现代的农残检测方法和技术,构建高效准确的当归农药残留检测体系,制定当归农药限量标准。

5.4 构建当归农药残留膳食暴露评估模型

当归农药残留限量标准的制定依赖于农药膳食暴露评估模型,因此,应充分借鉴国内外先进的膳食暴露评估模型,对现有当归农药残留膳食暴露评估模型进行优化,提高当归膳食暴露评估结果的准确性和可靠性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2015: 133.
- [2] 徐国钧. 中国药材学(上册)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996: 332-338.
- [3] Wei W L, Zeng R, Gu C M, et al. *Angelica sinensis* in China—a review of botanical profile, ethnopharmacology, phytochemistry and chemical analysis [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 190: 116-141.
- [4] 桑滨生. 《中医药发展战略规划纲要(2016—2030 年)》解读 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2016, 18(7): 1088-1092.
- [5] 窦亚洁, 刘慧, 李晓萌, 等. 中药中外源性有害物的残留现状及风险评估的研究进展 [J]. 中草药, 2023, 54(2): 396-407.
- [6] 张峰祖, 朴秀英. 国内外农药膳食风险评估技术现状 [J]. 现代农药, 2023, 22(4): 14-20.
- [7] 乔雄梧. 食品中农药残留风险评估述评 [J]. 农药学报, 2023, 25(1): 12-22.
- [8] 席峙凌. 岷县当归生育期主要病害防治技术 [J]. 农民致富之友, 2017(12): 147.
- [9] 李应东, 刘佛珍, 陈垣, 等. 当归规范化种植技术及其主要病虫害防治 [J]. 现代中药研究与实践, 2005, 19(1): 23-26.
- [10] 陈书珍, 季绪霞, 杨成德, 等. 甘肃省岷县当归病害调查及叶斑病田间药剂筛选 [J]. 草业科学, 2017, 34(12): 2470-2475.
- [11] 王艳, 王引权, 晋玲, 等. 甘肃省当归病害种类调查及其病原鉴定 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51(7): 1352-1354.
- [12] 刘雯, 晏立英, 朝慧, 等. 甘肃省 18 种药用植物病毒病调查及 2 种病毒病的鉴定 [J]. 植物保护, 2014, 40(5): 133-137.
- [13] 刘娟娟, 赵慧巧, 卢年华, 等. 当归主要病虫害防治研究进展 [J]. 药学研究, 2015, 34(5): 293-295.
- [14] 陈静梅, 严辉, 周桂生, 等. 当归农药残留研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2022, 47(6): 1445-1452.
- [15] 于灏泳, 何发林, 乔治华, 等. 防治沟金针虫的农药复配增效配方筛选 [J]. 中国农学通报, 2019, 35(34): 115-121.
- [16] 石卫东, 张同庆, 王瑾, 等. 杀虫剂种类及作用机理 [J]. 河南农业, 2014(7): 28-29.
- [17] 王苏林. 当归主要病虫害发生特点及绿色防控技术 [J]. 现代农业科技, 2017(15): 104-105.
- [18] 曹楠, 赵义良, 宋瑞, 等. 常见除草剂的药害原因及防治策略 [J]. 食品安全导刊, 2021(增刊): 51-53.
- [19] 梁伟. 不同茬口当归田杂草群落特征及除草剂筛选研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [20] 方旭元, 夏高峰, 石巧巧, 等. QuEChERS-GC-MS 法检测当归中 9 种除草剂残留 [J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(6): 79-83.
- [21] 董顺玲, 胡家焱, 何志强, 等. 中药材中氨基甲酸酯类农药残留量的反相高效液相色谱法 [J]. 药物分析杂志, 2002, 22(3): 178-182.
- [22] 王晓琳, 张平, 刘志荣, 等. 岷县当归 50 种禁用农药残留测定 [J]. 中国中医药信息杂志, 2019, 26(11): 79-84.
- [23] 朱仁愿, 丁辉, 杨志敏, 等. 当归、党参、黄芪和甘草中农药多组分残留检测技术的研究进展 [J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(03): 371-376.
- [24] 食品安全国家标准·食品中农药最大残留限量 [S]. GB 2763—2021, 2021: 6-375.
- [25] 中国药典 [S]. 四部. 2020: 270-311.
- [26] 国内外药典涉及的中药中残留物限量标准及分析 [EB/OL]. (2018-03-31) [2021-08-12]. <https://www.>

- antpedia.com/news/03/n-2244203.html.
- [27] 刘佳悦, 徐军, 董丰收, 等. 中草药中禁限用农药残留限量标准及分析方法研究进展 [J]. 现代农药, 2020, 19(5): 1-8.
- [28] 任晓航, 杜锐, 张旭, 等. 中药外源性污染物检测技术的现代研究 [J]. 中草药, 2019, 50(10): 2480-2490.
- [29] 农药农村部农药检定所. 农药登记信息 [EB/OL]. [2021-10-26]. <http://www.chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml>.
- [30] 孟令煜, 王引权, 王丹, 等. 当归农药使用现状及农药残留检测技术研究进展 [J]. 甘肃中医药大学学报, 2022, 39(6): 86-90.
- [31] 何泳标. 食品中有机氯农药残留分析前处理技术研究进展 [J]. 现代食品, 2018(7): 122-124.
- [32] 徐鹏, 封跃鹏, 范洁, 等. 有机氯农药在我国典型地区土壤中的污染现状及其研究进展 [J]. 农药, 2014, 53(3): 164-166.
- [33] 赵春杰. 脱除中药材中残留农药和重金属的研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2006.
- [34] 欧英富. 中药材中残留农药的测定及脱除研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2007.
- [35] 王晓燕. 当归中有机氯农药残留测定 [D]. 青岛: 青岛农业大学, 2019.
- [36] 谢楠, 张明童, 刘志荣, 等. 改进 QuEChERS/超高效液相色谱-串联质谱法同时测定当归中 86 种农药残留 [J]. 化学试剂, 2021, 43(2): 196-203.
- [37] 闫研, 梁雪, 秦斌, 等. 9 种药食两用药材中 15 种有机磷类农药残留分析及膳食风险评估 [J]. 当代化工, 2024, 53(2): 500-504.
- [38] 梁晶晶, 沈丹, 丁宇琦, 等. 基于新型多壁碳纳米净化技术的 UPLC-MS/MS 法测定蔬菜中 24 种氨基甲酸酯类农药残留 [J]. 食品科技, 2018, 43(6): 312-316.
- [39] 刘姣, 刘雪峰, 樊宝娟, 等. GC-MS 法测定 18 种药材中的农药残留量 [J]. 西北药学杂志, 2017, 32(1): 9-13.
- [40] 郭新颖, 顾俊, 陈峰, 等. 高效液相色谱法测定中药材氨基甲酸酯类农药残留 [J]. 农药, 2019, 58(5): 353-355.
- [41] 陈媛, 赖鲸慧, 张梦梅, 等. 拟除虫菊酯类农药在农产品中的污染现状及减除技术研究进展 [J]. 食品科学, 2022, 43(9): 285-292.
- [42] 朱敏凤, 余敏灵, 张富东. GC-MS/MS 测定当归中联苯菊酯等三种农药残留的一测多评研究 [J]. 中国药学报, 2018, 46(5): 73-77.
- [43] 胡云飞, 张腾腾, 汤瑜晨, 等. 植物生长调节剂在根及根茎类中药中调控机制的研究进展 [J]. 中成药, 2023, 45(5): 1598-1602.
- [44] 翟宇瑶, 郭宝林. 高效液相色谱-串联质谱测定 4 种植物生长延缓剂在 6 种根及根茎类药材中残留量 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42(11): 2110-2116.
- [45] 刘志荣, 张明童, 马潇, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定党参和当归中 23 种植物生长调节剂的残留量 [J]. 理化检验: 化学分册, 2023, 59(11): 1303-1310.
- [46] 张峰祖, 朴秀英. 欧盟、美国和日本加工农产品中农药残留评估现状 [J]. 植物保护, 2023, 49(2): 13-21.
- [47] 王曦, 刘子琪, 康珊珊, 等. 农药残留膳食暴露评估模型研究进展 [J]. 食品科学, 2023, 44(3): 269-277.
- [48] 马宁, 陈思越, 王玉明, 等. 暴露评估在中药有害物质限量标准中的方法、应用及展望 [J]. 分析测试学报, 2023, 42(8): 1039-1046.
- [49] 王向未, 仇厚援, 张志恒, 等. 食品中膳食暴露评估模型研究进展 [J]. 浙江农业学报, 2012, 24(4): 733-738.
- [50] 常巧英, 杨志敏, 白若铤, 等. GC/LC-Q/TOF MS 测定当归中农药残留及膳食风险评估 [J]. 分析测试学报, 2024, 43(2): 292-300.
- [51] World Health Organization (WHO). Inventory of Evaluations Performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR) [EB/OL]. [2023-08-14]. <http://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/Home/Range/All>.

[责任编辑 潘明佳]