

【 综述 】

药食同源物质的安全性风险评估研究进展

徐慧娟, 周家灼, 郑 特, 王朵朵, 王玉婷, 张 云*

齐鲁工业大学(山东省科学院), 山东省科学院生物研究所, 山东 济南 250103

摘 要: 药食同源物质兼具“药”与“食”的双重特性, 既有药品的治疗疗效, 又有食品的安全性和稳定性, 在辅助治疗疾病、营养补充以及保健养生等方面发挥着重要作用。近年来, 随着人们生活水平的提高和健康意识的增强, 药食同源物质的市场需求持续增长。现阶段, 对于药食同源物质的研究大多聚焦于药品及保健品等开发, 以致致力于功效挖掘。然而, 对药食同源物质可能存在的安全风险研究相对较少, 比如, 部分药食同源物质本身含有安全风险物质, 在种植、加工等过程中还可能还存在农药残留、重金属超标、真菌毒素或其他外源性残留物污染等安全隐患问题。因此, 系统综述药食同源物质安全性风险评估的研究进展, 深入剖析影响其安全性的各类因素, 并进一步探讨安全风险评估新技术的应用以及未来的发展方向。旨在为药食同源物质精准、科学的安全性风险评估提供一定的参考, 从而更好地保障公众健康, 推动药食同源产业健康、可持续发展。

关键词: 药食同源物质; 安全风险物质; 外源性污染物; 影响因素; 安全性风险评估; 新技术

中图分类号: R965.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-6376(2025)09-2642-10

DOI: 10.7501/j.issn.1674-6376.2025.09.024

Research progress on safety evaluation of medicine and food homologous substances

XU Huijuan, ZHOU Jiashuo, ZHENG Te, WANG Duoduo, WANG Yuting, ZHANG Yun

Biology Institute, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250103, China

Abstract: Medicine and food homologous substances have the dual characteristics of "medicine" and "food", both the therapeutic effect of drugs, and the safety and stability of food, and play an important role in the auxiliary treatment of diseases, nutritional supplements and health care. In recent years, with the improvement of people's living standards and the enhancement of health awareness, the market demand for medical-food homologous substances continues to grow. At present, most of the research on the homologous substances of medicine and food focuses on the development of drugs and health products, so as to devote to the efficacy mining. However, there are relatively few studies on the possible safety risks of medicine and food homologous substances. For example, some medicine and food homologous substances themselves contain safety risk substances, and there may be pesticide residues, excessive heavy metals, fungal toxins or other external residue pollution in the process of cultivation and processing. Therefore, this paper systematically reviewed the research progress of safety risk assessment of medicine and food homologous substances, deeply analyzed various factors affecting their safety, and further discussed the application and future development direction of new safety risk assessment technology. The aim is to provide a certain reference for accurate and scientific safety risk assessment of medicine and food homologous substances, so as to better protect public health and promote the healthy and sustainable development of medicine and food homologous industry.

Key words: medicine and food homologous substances; safety risk substance; exogenous pollutants; influencing factor; security risk assessment; new technology

收稿日期: 2025-03-09

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC2804600); 泰山学者工程资助项目(tsqn202211204); 齐鲁工业大学(山东省科学院)科教产融合试点工程重大创新类项目(2025ZDZX14)

作者简介: 徐慧娟(2002—), 女, 硕士研究生, 研究方向为药物筛选。E-mail: 13370628263@163.com

*通信作者: 张 云(1982—), 博士, 研究员, 主要从事新药研发研究。E-mail: zhangyun@sdas.org

在传统认知中“药食同源”物质兼具食品属性与药用价值,这类物质中符合药用标准的部分已被纳入《中华人民共和国药典》(简称《中国药典》)[1]。其特性体现为双向兼容性:部分食物不仅具备养生功效,还能辅助治疗疾病或直接作为药物使用;而某些具有治疗作用的药物,常被用作食材、调料或食品原料。国家卫生健康委员会将这类物质正式命名为“药食同源物质”,此外还有“食药物质”“食药两用物质”“既是食品又是药品的物质”等多种表述[2]。截至目前,国务院卫生行政部门已分 4 批次发布既是食品又是中药材的物质名单,共计包含 106 种物质。

随着公众健康意识的提升和药食同源产业的迅猛发展,该领域的安全性问题逐渐成为关注焦点。部分药食同源物质本身含有潜在风险成分,过量食用可能引发中毒;同时,外源性污染等问题也对人体健康构成威胁[3]。为有效应对这些挑战,一系列创新性评价技术被应用于药食同源物质的安全性评价。生物表型可视化技术借助斑马鱼模型或类器官模型,通过观察生物表型变化或组织代谢特征,可快速实现毒性效应的可视化检测;分子机制

解析技术融合网络毒理学与多组学技术,能从分子层面解析物质作用机制,精准识别毒性标志物;智能化风险预警技术依托人工智能(AI)深度挖掘分析数据,可快速预测潜在风险并构建智能化风险预警体系;微量污染物检测技术则实现了低浓度有害物质的精准监测。这些技术的交叉融合与协同应用,对推动药食同源物质安全性风险评估向精准化、智能化方向发展具有重要意义。

基于上述背景,本文依据“有相关毒性报道、过量使用会产生毒性、存在农药残留问题、存在重金属污染问题、存在真菌毒素污染问题、存在炮制方法不当问题、服用人群因体质存在差异,以及物质间会产生相互作用”这几个维度,对药食同源物质进行了分类(图 1)。并对药食同源物质安全性风险评估的研究进展进行综述,系统分析影响其安全性的各类因素,深入探讨安全风险评估新技术的应用情况及未来发展方向,旨在为药食同源物质精准、科学的安全性风险评估提供参考依据,进而保障公众健康,推动药食同源产业规范发展。



图 1 药食同源物质的安全性风险评估

Fig. 1 Safety risk assessment of medicine and food homologous substances

1 药食同源物质安全性评价

药食同源物质凭借其独特的双重属性,在健康领域占据重要地位[4]。作为药物,它们具备特定的药理活性,可用于疾病的预防与治疗;作为食

材,又能为人体提供营养,调节生理机能,增强机体免疫力。然而,这种“药食两用”的特性也伴随着潜在风险,若食用方式不当,其含有的安全风险物质可能对人体健康造成损害[5]。为深入

探究该领域的安全隐患,本文基于文献调研,对已报道存在安全风险或存有潜在安全疑虑的典型药食同源物质进行系统综述,以期风险防控与合理应用提供参考。

1.1 决明子

决明子是豆科植物决明或小决明的干燥成熟种子,具有清热明目、润肠通便之功效,常作为水煎服或代茶饮的保健类食品。《中国药典》2020 年版规定决明子的人体推荐量为 $9.0 \sim 15.0 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 。决明子的主要活性成分蒽醌类化合物具有降压、调脂、抑菌、抗炎、神经保护与免疫调节等作用,但伴有肝肾毒性风险^[6]。

刘俊等^[7]研究表明,决明子水提液中的蒽醌类化合物橙黄决明素可导致斑马鱼幼鱼肝脏肿大、卵黄囊吸收延迟、肝生化指标异常,诱导肝细胞凋亡以及线粒体损伤,是决明子的主要肝毒性成分。周宇红等^[8]以不同剂量(对应生药量 0、5、15、25、35、45 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)决明子乙醇提取物持续饲喂健康大鼠 13 周,结果显示,实验组大鼠肾小管上皮细胞出现棕褐色颗粒状物质沉积,且黑色素染色呈阳性,表明决明子对肾脏具有一定的毒性。因此,决明子虽然有益于人体健康,但也不宜长期大量食用。

1.2 栀子

栀子茜草科植物栀子的干燥成熟果实,味苦,性寒。食用方式多元,涵盖代茶饮、煮粥、煮汤等,含有挥发油、有机酸酯类、黄酮类以及多糖等成分,具有泻火除烦、清热利尿、凉血解毒等功效。研究表明京尼平苷是栀子诱发肝毒性的关键成分^[9]。

急性肝毒性实验表明,京尼平苷剂量达 $574 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及以上时,肝损伤与剂量呈正相关,其作用机制与炎症通路激活、抗氧化应激能力下降,进而促进细胞凋亡有关^[10-11]。段晓梦等^[12]研究发现,大黄、黄连、黄芩配伍可激活溶质载体家族 7 成员 11/谷胱甘肽过氧化物酶 4/血红素氧合酶-1 (SLC7A11/GPX4/HO-1) 信号通路,抑制氧化应激和铁死亡,有效缓解栀子肝毒性。由此可知,严控使用剂量、优化配伍组合是保障栀子安全使用的有效策略。

1.3 白果

白果是银杏科银杏属植物银杏的干燥成熟种子,富含蛋白质、多糖、维生素和矿物质等营养成分,具有很好的保健功能。白果同时还含有银杏叶黄酮内酯、多元醇等活性成分,具有抗菌、抗氧化

与抗肿瘤等药理作用。现代研究表明白果中的活性物质吡哆醇具有神经、心脏及肝肾毒性^[13]。

《中国药典》2020 年版明确规定,成人每日的白果用量不得超过 $5 \sim 10 \text{ g}$ 。Hong 等^[14]对成年雄性小鼠 ip 不同剂量的吡哆醇 (175 、 350 、 $700 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),每天 2 次,连续 14 d,小鼠的听觉神经感觉纤维丢失、轴突萎缩变性,毒性作用呈剂量相关性。宫号等^[15]对 SD 大鼠开展急性与亚慢性毒性实验,一次性 ig 给予高剂量 ($5000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 吡哆醇致大鼠肝细胞中央静脉重度扩张、充血;不同剂量 (3.15 、 15.80 、 $31.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 吡哆醇持续 ig 给予大鼠 28 d,中、高剂量组大鼠血清中丙氨酸氨基转移酶 (ALT) 和天冬氨酸氨基转移酶 (AST) 含量显著升高,肝细胞发生点状坏死。

1.4 薄荷

薄荷是唇形科植物薄荷的全草或叶,主要成分为薄荷挥发油和薄荷醇,具有疏散风热、抗炎止痛及抗真菌、抗病毒等作用。《中国药典》2020 年版规定,口服薄荷油单次用量为 $0.02 \sim 0.20 \text{ mL}$,日用量为 $0.06 \sim 0.60 \text{ mL}$ 。研究表明,服用高剂量薄荷油可导致肝中毒,并引发炎症反应^[16]。

多项研究揭示了薄荷相关成分的潜在风险。刘红杰等^[17]研究表明,给大鼠一次性 ig $2.4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$ 薄荷油,会致使大鼠血清肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、白细胞介素-6 (IL-6) 水平升高,同时肝组织核因子 κB (NF- κB)、细胞内黏附分子-1 (ICAM-1) 蛋白表达增强;此外, 0.5 、 $5.0 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 的薄荷油还会使大鼠原代肝细胞中乳酸脱氢酶 (LDH)、ALT 和 AST 水平上升,引发肝毒性。陈海博等^[18]的研究则发现,薄荷醇能够激活哺乳动物雷帕霉素靶蛋白 (mTOR),升高细胞内 Ca^{2+} 浓度,并促进炎症相关因子 IL- 1β 和 TNF- α 表达,进而引发炎症反应。

1.5 鱼腥草

鱼腥草为三白草科植物蕺菜的新鲜全草或干燥地上部分,又名折耳根,具有清热解毒、利尿除湿、杀菌、抗病毒及增强免疫力等作用,被称为“植物抗生素”。其化学成分含挥发油、黄酮类、生物碱类及多糖等,研究表明,马兜铃内酰胺等生物碱类成分具有一定的胚胎发育毒性和肝肾毒性^[19]。

陈宏降等^[20]研究发现, $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 鱼腥草马兜铃内酰胺 AII 可导致斑马鱼胚胎肾包膜水肿,鱼腥草地上与地下部分 95% 乙醇提取物对斑马鱼成鱼和胚胎均有急性毒性和胚胎发育毒性,可导致斑马鱼心包

水肿和卵黄囊吸收迟缓,半数致死剂量(LD₅₀)分别为 2.85、10.40 mg·L⁻¹。Chen 等^[21]开展的 28 d 亚急性毒性实验结果显示,500、1 000 mg·kg⁻¹ 鱼腥草醇提物处理组大鼠肝脏、肾脏出现毒性反应,代谢发生紊乱。

1.6 白芷

白芷是伞形科植物白芷的干燥根,主要有效成分是香豆素类,其次为挥发油、白芷酸等,具有解表散寒、祛风止痛、消肿排脓、抗菌消炎等功效^[22]。研究表明,白芷呋喃香豆素中的欧前胡素和异欧前胡素具有光毒性,光敏机制可能与二者和细胞内的 DNA 结合,抑制 DNA 复制有关^[23]。刘硕等^[24]以不同剂量(0.93、4.65、8.30 g·kg⁻¹)白芷水提物 ig 给予 SD 大鼠后予以紫外辐射,0.93 g·kg⁻¹ 低剂量(对应人体剂量为 9 g·d⁻¹,在药典推荐剂量 3~10 g·d⁻¹ 的建议范围内)白芷水提物处理组大鼠未出现皮肤光毒性反应;中、高剂量则诱发大鼠皮肤出现红斑、浮肿现象,且随时间推移皮肤光毒性加剧。

1.7 马齿苋

马齿苋是马齿苋科马齿苋属石竹目一年生肉质草本植物,富含蛋白质、脂肪、矿物质等营养成分以及多糖、生物碱、黄酮类和脂肪酸等活性物质,具有消炎镇痛、清热解毒、止痢等功效,被称为“天然抗生素”^[25]。但马齿苋中的草酸含量较高,短期内大量服用,草酸与人体内的钙结合形成草酸钙,在肾脏中不断积累,可损伤肾小管,影响人体对钙的吸收。焯水处理能够有效降低马齿苋的草酸含量,去除涩味,改善口感,从而提升其安全性^[26]。

综上,药食同源物质安全性风险评估需兼顾药、食双重属性,深挖价值、管控风险,以保障其合理应用与人体健康。

2 药食同源物质外源性污染物的安全性风险评估

药食同源物质在种植、采收、加工和储藏环节,易受农药、重金属以及真菌毒素等外源污染物的污染,影响其质量安全、危害人体健康,造成环境污染^[27]。本文聚焦已有外源性污染物报道的药食同源物质,综述其研究进展,为其安全性评价提供参考。

2.1 农药残留

药食同源物质具有良好的药理活性和保健功效,其市场需求量大。种植阶段为提高产量和品质,农药喷施普遍,致残留超标时有发生。有机氯、有机磷等广谱杀虫剂,化学性质稳定、毒性强、难降解,会长期存在于土壤等环境介质中,通过食物链

进行生物富集,影响药食同源物质的安全性^[28]。

生姜为姜科多年生草本植物姜的新鲜根茎,因其独特的辛香味常被用作调味品,可解表散寒、温肺止咳,是一种日常使用的药食同源物质^[29]。张金环等^[30]采用 QuEChERS 前处理与超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-MS/MS)法,对市售 50 份生姜样品进行检测,农残检出率为 2.0%~1.2%,残留含量为 0.011~0.345 mg·kg⁻¹,其中 3 份生姜样品中有 2 种农药超出了最高残留限量标准。

菊花为菊科植物菊的干燥头状花序,含有黄酮、绿原酸、挥发油以及微量元素等,具有降血压、调血脂、抗炎、抗氧化等作用^[31]。李海亮等^[32]对不同地区的 78 批次菊花样品进行农药残留检测,发现所有批次均有农残检出,其中检出农残最多的有 38 种,平均每批样品检出农残 11 种。菊花常被用来泡茶,具有清热解毒、清肝明目之功效。Jiang 等^[33]评估了菊花中农药残留向溶液中转移的风险,结果表明,甲霜灵和噻虫嗪的最大转移率分别为 59.9%、88.2%,且农残向溶液中的转移率随着农药水溶性、农药浓度、浸泡时间以及水温的增大而增大。因此,菊花中农药残留的风险较高,在用菊花泡茶时应注意农药残留摄入对人体健康的影响。

可见药食同源物质中农药残留超标情况普遍存在,且使用的农药种类较多,相关部门需加强监管,严格控制使用农药的种类和剂量,提高产品质量,保障药食同源物质的安全性。

2.2 重金属

近年来,经济发展伴生土壤重金属污染,若摄入含有重金属元素的药食同源物质,重金属会随之进入人体,与人体中的酶蛋白结合,使蛋白质活性丧失,从而导致人体组织细胞受损,危害人体健康^[34]。《中国药典》2020 年版规定的部分药食同源物质重金属含量限制标准为:铅(Pb)≤5.0 mg·kg⁻¹,镉(Cd)≤0.3 mg·kg⁻¹,汞(Hg)≤0.2 mg·kg⁻¹,砷(As)≤2.0 mg·kg⁻¹,铜(Cu)≤20.0 mg·kg⁻¹。此外,还应满足《食品安全国家标准·食品中污染物限量》对其重金属最大残留量的限定^[35]。

芡实是睡莲科植物芡的干燥成熟种仁,具有健脾止泻、益肾固精、除湿止带等功效。它一般生长于池塘、沼泽和湖泊中,极易受到土壤和水中重金属污染的影响^[36]。金小花等^[37]测定了太湖流域 28 个不同产地芡实中的重金属含量,发现主要是镉、铬、砷和汞等超标,影响芡实的安全性。张志超等^[38]通过等

离子体质谱法 (ICP-MS), 测定不同产地 22 批次茭实中铅、镉、铬、铜、砷和汞的含量, 发现部分产地的茭实存在镉、铬、砷和汞等重金属元素超标现象, 且不同产地含量差异较大。

天麻是天麻属兰科植物的干燥块茎, 具有神经保护、增智健脑、镇静催眠等功效。其食用块茎与土壤直接接触, 生长周期长, 容易造成重金属富集^[39]。已有研究表明天麻存在重金属污染问题, 赵晓慧等^[40]在云南小草坝新鲜天麻中检出 9 种重金属元素, 54 份天麻样品中铅超标率达 40.7%, 人体铅积累超负荷会导致神经、造血与消化系统等发生功能障碍。金正强等^[41]对云南 32 批天麻样本中的铅、砷、镉、铜进行风险评估, 发现镉超标 3.1%, 而镉在人体中积累会损伤肾小管, 干扰钙吸收, 引发骨质疏松等。

因此, 在种植药食同源物质来源植物之前要先选定重金属达标的土壤, 加工过程中对仪器设备进行处理, 制成相应保健食品前再对其重金属含量进行检测筛选, 层层把控, 确保其安全性。

2.3 真菌毒素

药食同源物质容易受到病原微生物污染, 累积真菌毒素, 低浓度即可对人体健康造成危害, 使肝脏、肾脏和胃肠道等发生病变, 甚至可能致癌、致畸、致突变。黄曲霉毒素 (AFs) 是最常见的一种真菌毒素, 它是由黄曲霉和寄生曲霉次级代谢产生的一类结构相似的二氢呋喃香豆素衍生物, 主要包括 AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂ 等, 其中 AFB₁ 的毒性最强^[42]。

麦芽是由禾本科植物大麦的成熟果实经水浸泡后, 在适宜的温湿度条件下发芽、干燥制成。麦芽炮制成炒麦芽后, 可直接食用或用于泡茶、煮粥, 有健胃消食、回乳消胀之功效。

胡玲等^[43]通过 UPLC-MS/MS 分析发现 72 批次炒麦芽样品中黄曲霉毒素的阳性样品率为 9.7%, 且 AFB₁、AFB₂、AFG₁ 向茶汤中的迁移率分别为 13.6%、17.0%、11.0%。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, 水溶性强的则高^[44]。

酸枣仁是鼠李科枣属植物酸枣的干燥成熟种子, 具有养心补肝、安心宁神之功效^[45]。孙梅峰等^[46]利用免疫亲和柱-高效液相色谱-荧光检测器 (IAC-HPLC-FLD) 定量分析 72 批酸枣仁样品中的黄曲霉毒素, 发现所有批次酸枣仁中均有不同含量的 AFG₂、AFG₁、AFB₂、AFB₁ 检出, 检出率分别为

1.39%、1.39%、34.72%、44.44%。

综上所述, 药食同源物质存在不同程度的真菌毒素污染, 《中国药典》2020 年版并未明确规定某些真菌毒素的限量标准, 超标情况难以评判, 亟待完善规范、强化监测, 确保药食同源物质的安全使用^[47]。

3 影响药食同源物质安全性的关键因素

药食同源物质兼具临床药用价值与食养保健功能。食用剂量、炮制方法、服用人群体质以及物质间相互作用都会影响药食同源物质的安全性和功效。

3.1 食用剂量与炮制方法

药食同源物质食用剂量不当、炮制失宜, 易引发不良反应, 存在安全风险。如苦杏仁中的苦杏仁酶可分解苦杏仁苷产生氢氰酸, 抑制细胞呼吸, 具有镇咳平喘的功效, 但过量摄入苦杏仁可引起氢氰酸中毒。而蒸法和微波法能够“杀酶保苷”, 达到减毒增效的作用^[48]。火麻仁含有丰富的不饱和脂肪酸、蛋白质、膳食纤维等, 烹饪后可直接食用, 也可加工成火麻仁油, 有润肠通便、补中益气等作用, 但由于火麻仁油含有一定量的大麻酚类物质, 食用过量可能引起中毒。研究表明, 清炒和微波法均能降低大麻酚类物质的含量, 增加脂肪酸的含量, 为火麻仁的安全使用提供了依据^[49]。因此, 应选择合适的食用剂量和恰当的炮制方法以提高药食同源物质的安全性。

3.2 服用人群体质差异

服用人群体质也是影响药食同源物质安全性的重要因素, 不同体质对药食同源物质的反应不同。如脾胃虚弱者不宜连续使用金银花。金银花是忍冬科植物忍冬的干燥花蕾, 其主要有效成分绿原酸, 是一种由咖啡酸和奎尼酸形成的酯类物质, 具有清热解毒、抗氧化、增强免疫力以及保肝利胆等作用^[50]。蒲含林等^[51]研究发现, 当金银花水提物质量浓度达到 30 g·L⁻¹ 以上时, 连续饮用 5 d 后, 小鼠开始出现死亡现象, 肝脏颜色明显变暗, 脾脏明显变小。由此可见, 凉性金银花可能具有一定的肝毒性, 体质虚弱者不宜连续使用。

3.3 物质间相互作用

某些药食同源物质与其他药物或食物同时服用可能会发生相互作用, 影响其安全性和功效。人参为五加科人参属植物人参的干燥根及根茎, 其主要成分是人参皂苷, 有补脾益肺、生津养血、安神

益智等功效。藜芦为百合科藜芦属植物,可用于治疗卒中、癫痫、喉痹等病症,但其主要化学成分甾体生物碱具有一定的心脏毒性和肝、肾毒性。章斌等^[52]研究发现,藜芦与人参 1:1 配伍时,人参皂苷类成分因其表面活性作用使藜芦中毒性生物碱的溶出率提高,从而导致藜芦毒性增加。由此可见,人参不宜与中药藜芦配伍使用。

因此,确定不同体质人群的适宜使用剂量,明晰药食同源物质的恰当炮制方法、合理配伍使用,对确保药食同源物质的安全使用、保障其功效发挥至关重要。

4 药食同源物质安全性评估前沿技术与发展趋势

近年来,药食同源物质的安全性风险评估研究取得了诸多进展,比如,化学成分分析技术的进步,对药食同源物质炮制方法、食用剂量、不同人群体质以及合理配伍的深入研究,安全性风险评估体系的不断完善等。安全性风险评估新技术在药食同源物质的安全性风险评估研究中得到广泛应用。

4.1 基于斑马鱼与类器官的生物表型可视化技术

斑马鱼与人类基因同源性高达 87%,胚胎发育透明且发育阶段契合人类胚胎早期分化过程,其肝脏、心血管等器官的结构和功能与人类高度相似,是药食同源物质心脏、肝脏、肾脏等器官毒性及胚胎发育毒性评估的理想模式动物^[53]。将受试物以浸泡方式给予斑马鱼,通过观测其生存指标、行为学、器官形态与功能的动态变化,可快速、直观地获取毒性信息。类器官作为体外模拟真实器官生理微环境与代谢功能的组织模型,与药食同源物质共培养,借助分析细胞代谢产物、关键酶活性及基因表达谱变化,可精准研判物质安全风险、生物利用度与代谢路径。不同评价模型优势互补,可为药食同源物质安全性风险评估提供可视化、高效精准的新路径^[54]。

4.2 网络毒理学与多组学融合的分子机制解析技术

网络毒理学整合多学科理论与技术,构建化合物-靶点网络,深度挖掘药食同源物质的潜在作用靶点,系统解析毒性作用通路,综合剂量-反应关系,构建更精准的风险评估模型。协同基因组学、转录组学、蛋白质组学与代谢组学技术,可全面监测药食同源物质干预机体后分子水平的多维度变化,从基因转录、蛋白表达、代谢物生成与转化层面,锁定毒性关联生物标志物,精准评估潜在毒性风险,为安全

性风险评估提供系统性、深层次的数据支撑^[55]。

4.3 AI 赋能的智能化风险预警技术

AI 技术可通过数据收集与整理、成分分析与预测、作用机制研究、毒性病理学研究、风险评估与预警等方式助力药食同源物质的安全性风险评估^[56-57]。如基于大数据挖掘与深度学习算法,高效收集、梳理药食同源多元数据,为其安全性评价提供丰富的参考数据;利用光谱分析技术结合 AI 算法,快速准确地识别和定量分析各种化学成分,预测潜在毒性;借助机器学习识别作用靶点、构建药食同源物质-靶点-疾病网络,深度解析作用机制,发现其可能存在的协同增效与不良反应;搭建智能化风险评估与预警系统,量化风险等级,实时监控生产-流通-使用各环节,及时预警处置安全隐患,全方位护航药食同源物质安全应用。

4.4 微量污染物检测技术

由于药食同源物质易受到农药残留、重金属以及真菌毒素等的污染,危害人体健康。因此,对各种污染物进行检测是药食同源物质安全性风险评估的重要内容。液相色谱-质谱联用法(LC-MS)具有高灵敏度和高特异性,能够检测到药食同源物质中残留量较低、难以用常规方法检测到的农药残留;ICP-MS 凭借高灵敏度和多元素同时分析能力的双重优势,能够快速、准确地检测出多种重金属元素及其含量,确保产品的安全性^[58]。

4.5 加工减毒工艺优化技术

炮制减毒、提取分离减毒、微生物发酵减毒等加工工艺对药食同源物质的安全性风险评估具有重要意义。部分药食同源物质本身含有安全风险物质,合理炮制是关键。如乌头经蒸煮炮制,可使乌头碱水解为低毒衍生物,降低安全风险^[59]。依成分溶解度特性差异,针对性提取分离有效成分,截留安全风险物质于残渣中,可实现减毒增效。对于一些受到重金属、生物毒素等污染的药食同源物质,可通过生物吸附、沉淀转化及微生物发酵等技术有效脱毒,但发酵过程需严格控制温度、时间,防止产生新的有害物质。例如,某些霉菌发酵可能会产生霉菌毒素。因此,需要对发酵后的药食同源物质进行全面检测,评估微生物代谢产物的种类和含量是否符合安全标准,从而保证发酵产物的安全性。此外,发酵后的药食同源物质通常会变得更加稳定,降低因长时间储存而产生有害物质的可能性,从长期储存的角度提升了药食同源物质的安全性^[60]。

5 结语

科学使用药食同源物质需统筹考量炮制工艺、剂量把控、体质适应性及配伍等关键因素,方能充分发挥其药用价值。展望未来,斑马鱼与类器官等可视化评价模型、多组学技术以及 AI 等前沿科技,将在食同源物质安全性风险评估领域获得更为广泛和深入的应用。通过多技术交叉融合与创新突破,有望构建起覆盖分子机制解析、动态过程监测、风险精准预警的全链条安全性评估体系。这不仅能为公众健康保驾护航,更将有力推动药食同源产业朝着规范化、科学化方向迈进,实现可持续发展。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 石镇港,姜德建.药食同源中药安全性研究进展[J].湖南中医药大学学报,2020,40(6):772-777.
Shi Z G, Jiang D J. Study advances in safety of medicine and food homology of traditional Chinese medicine [J]. J Hunan Univ Chin Med, 2020, 40(6): 772-777.
- [2] 丁劲文,迟湘胤,张玉,等.“药食同源”的生物学原理[J].药学学报,2024,59(06):1509-1518.
Ding J W, Chi X Y, Zhang Y, et al. Biological principles of "food and medicine homologous" [J]. Acta Pharm Sin, 2024, 59(6): 1509-1518.
- [3] 杨光,苏芳芳,陈敏.药食同源起源与展望[J].中国现代中药,2021,23(11):1851-1856.
Yang G, Su F F, Chen M. Origin and prospect of homology medicine and food [J]. Mod Chin Med, 2021, 23(11): 1851-1856.
- [4] Chen J S. Essential role of medicine and food homology in health and wellness [J]. Chin Herb Med, 2023, 15(3): 347-348.
- [5] 黄艳,蒋佳洛,王文林,等.几种药食同源植物来源中药肝毒性机制研究进展[J].中国药理学与毒理学杂志,2022,36(2):149-154.
Huang Y, Jiang J L, Wang W L, et al. Research progress in hepatotoxicity mechanism of several traditional Chinese medicines from medicine and food homology plants [J]. Chin J Pharmacol Toxicol, 2022, 36(2): 149-154.
- [6] 梁天祚,黄国维,罗良涛.决明子中蒽醌类及其化合物对肝的双重作用[J].首都食品与医药,2024,31(5):20-24.
Liang T Y, Huang G W, Luo L T. Dual effects of anthraquinones and their compounds in cassia seed on liver [J]. Capital Food Medicine, 2024, 31(5): 20-24.
- [7] 刘俊.决明子中主要肝毒性蒽醌类成分鉴别及其毒性作用机制研究[D].广州:南方医科大学,2021.
- [8] 毛琳,余黎,许增智,等.决明子的药理学作用及其在食品领域应用研究进展[J].食品工业科技,2024,45(16):425-438.
Mao L, Yu L, Xu Z Z, et al. Research progress on the pharmacological effects and applications in the field of food of *Cassiae Semen* [J]. Sci Technol Food Ind, 2024, 45(16): 425-438.
- [9] 陈榕,何梓炫,颜烨,等.栀子及其主要成分的药理及毒性作用研究进展[J].中草药,2023,54(18):6092-6105.
Chen R, He Z X, Yan Y, et al. Research progress on pharmacological and toxic effects of *Gardeniae Fructus* and its main components [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2023, 54(18): 6092-6105.
- [10] 张帆,吕东霞,董毓松,等.京尼平所致肝细胞毒性的物质基础研究[J].药学学报,2023,58(10):3032-3039.
Zhang F, Lv D X, Dong Y S, et al. Exploring the material basis of genipin-induced hepatotoxicity *in vitro* [J]. Acta Pharm Sin, 2023, 58(10): 3032-3039.
- [11] Luo Y S, Gao F Y, Chang R R, et al. Metabolomics based comprehensive investigation of *Gardeniae Fructus* induced hepatotoxicity [J]. Food Chem Toxicol, 2021, 153: 112250.
- [12] 段晓梦,马心予,白天宇,等.不同药对配伍对栀子引起的肝损伤的保护作用研究[J].中南药学,2023,21(11):2901-2907.
Duan X M, Ma X Y, Bai T Y, et al. Protective effect of different formula compatibilities on *Fructus Gardeniae*-induced hepatotoxicity [J]. Cent South Pharm, 2023, 21(11): 2901-2907.
- [13] 徐梦佳.白果、夏枯草和栀子中一些内源性组分生物效应及其代谢组学研究[D].南昌:南昌大学,2023.
Xu M J. Studies on the biological effects and metabolomics of some endogenous components in *Ginkgo Biloba* seeds, *Prunella vulgaris* L. and *Gardenia jasminoides* Ellis [D]. Nanchang: Nanchang University, 2023.
- [14] 徐梦佳,郭娴,陈锦萍,等.白果中内源性组分吡哆醇对大鼠的急性和亚慢性毒性评价[J].南昌大学学报(理科版),2023,47(5):448-455.
Xu M J, Guo X, Chen J P, et al. Evaluation of acute and sub-chronic toxicity of endogenous component pyridoxine from *Ginkgo* seeds to rats [J]. J Nanchang Univ Nat Sci, 2023, 47(5): 448-455.

- [15] 宫号. 银杏种仁 4'-O-甲基吡哆醇类化合物分析及其生物化学效应研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2019.
Gong H. Analysis of 4'-O-methylpyridoxin analogues in *Ginkgo biloba* seeds and its biological effects [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2019.
- [16] 徐佳馨, 王继锋, 颜妮妮, 等. 薄荷的药理作用及临床应用 [J]. 食品与药品, 2019, 21(1): 81-84.
Xu J X, Wang J F, Yan W W, et al. Pharmacological action and clinical application of *Menthae Haplocalycis Herba* [J]. Food Drug, 2019, 21(1): 81-84.
- [17] 刘红杰, 金若敏, 齐双岩, 等. 薄荷油对大鼠肝组织 GSH、ATP 酶和原代肝细胞的影响 [J]. 中成药, 2008, 30(5): 644-647.
Liu H J, Jin R M, Qi S Y, et al. Effect of peppermint oil on GSH and ATPase in rat liver-tissues and primary cultured rat hepatocyte [J]. Chin Tradit Pat Med, 2008, 30(5): 644-647.
- [18] 陈海博, 李敏超. 薄荷醇通过 mTOR 活化促进人支气管上皮细胞气道炎症相关因子的表达 [J]. 南方医科大学学报, 2019, 39(11): 1344-1349.
Chen H B, Li M C. Role of mammalian target of rapamycin activation in menthol-induced expressions of airway inflammation-related factors in human bronchial epithelial cells *in vitro* [J]. J South Med Univ, 2019, 39(11): 1344-1349.
- [19] 尹明星, 陈婧, 施春阳, 等. 从马兜铃内酰胺探讨鱼腥草安全性 [J]. 中草药, 2021, 52(19): 6045-6051.
Yin M X, Chen J, Shi C Y, et al. Safety discussion of houttuyniae herba based on aristololactam [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2021, 52(19): 6045-6051.
- [20] 陈宏降, 刘佳楠, 阮洪生, 等. 鱼腥草、三白草地上部分和根茎醇提物对斑马鱼成鱼和胚胎的毒性研究 [J]. 中成药, 2020, 42(6): 1633-1636.
Chen H (J/X), Liu J N, Ruan H S, et al. Toxicity of ethanol extracts from aerial parts and rhizomes of *Houttuynia cordata* Thunb. and *Saururus chinensis* Thunb. to adult fish and embryos of zebrafish [J]. Chin Tradit Pat Med, 2020, 42(6): 1633-1636.
- [21] Chen H J, Sha X X, Luo Y Y, et al. Acute and subacute toxicity evaluation of *Houttuynia cordata* ethanol extract and plasma metabolic profiling analysis in both male and female rats [J]. J Appl Toxicol, 2021, 41(12): 2068-2082.
- [22] 练有扬, 杨娜, 赵雨晴, 等. 白芷的化学成分及药理活性研究进展 [J]. 科学技术创新, 2019(3): 36-37.
Lian Y Y, Yang N, Zhao Y Q, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Angelica dahurica* [J]. Sci Technol Innov, 2019(3): 36-37.
- [23] Yonezawa Y, Ohsumi T, Miyashita T, et al. Evaluation of skin phototoxicity study using SD rats by transdermal and oral administration [J]. J Toxicol Sci, 2015, 40(6): 667-683.
- [24] 刘硕, 黄霞, 林勇, 等. 口服白芷水提物对大鼠皮肤的光毒性作用 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(4): 424-429.
Liu S, Huang X, Lin Y, et al. Skin phototoxicity study of *Radix Angelicae dahuricae* water extract using rats by oral administration [J]. J Hunan Agric Univ Nat Sci, 2018, 44(4): 424-429.
- [25] Iranshahy M, Javadi B, Iranshahi M, et al. A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Portulaca oleracea* L [J]. J Ethnopharmacol, 2017, 205: 158-172.
- [26] Wang M, Li C J, Li J Y, et al. Extraction, purification, structural characteristics, biological activity and application of polysaccharides from *Portulaca oleracea* L. (purslane): A review [J]. Molecules, 2023, 28(12): 4813.
- [27] 李慧君, 张文生, 吴洁珊, 等. 中药材农药残留研究现状 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(1): 48-52.
Li H J, Zhang W S, Wu J S, et al. Research progress of pesticide residues in traditional Chinese medicines [J]. China J Chin Mater Med, 2019, 44(1): 48-52.
- [28] 袁华杨, 杜蕾, 胡贤锋, 等. 中药材农药残留检测技术研究现状及展望 [J]. 现代农业科技, 2024(16): 132-135, 148.
Yuan H Y, Du L, Hu X F, et al. Current situation and prospects of pesticide residue detection technology for Chinese crude drugs [J]. Mod Agric Sci Technol, 2024(16): 132-135, 148.
- [29] 项佳媚, 许利嘉, 肖伟, 等. 姜的研究进展 [J]. 中国药理学杂志, 2017, 52(5): 353-357.
Xiang J M, Xu L J, Xiao W, et al. Research progress in *Zingiber officinale* [J]. Chin Pharm J, 2017, 52(5): 353-357.
- [30] 张金环, 程艳宇, 李桂红, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定生姜中多种农药及代谢物残留 [J]. 世界农药, 2023, 45(5): 31-37.
Zhang J H, Cheng Y Y, Li G H, et al. Determination of multiple pesticide and metabolite residues in ginger by QuEChERS-liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. World Pestic, 2023, 45(5): 31-37.
- [31] 杨丹, 王珊, 胡云飞, 等. 菊花农药残留研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(6): 1339-1344.
Yang D, Wang S, Hu Y F, et al. Research progress of pesticide residues in *Chrysanthemum* [J]. China J Chin Mater Med, 2021, 46(6): 1339-1344.
- [32] 李海亮, 刘芑汐, 王赵, 等. 菊花中 216 种农药残留检

- 测分析 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(1): 88-103.
- Li H L, Liu Y X, Wang Z, et al. Detection and analysis of 216 pesticide residues in *Chrysanthemum morifolium* [J]. Mod Chin Med, 2024, 26(1): 88-103.
- [33] Jiang M Y, Zhang W, Zhang T T, et al. Assessing transfer of pesticide residues from *Chrysanthemum* flowers into tea solution and associated health risks [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2020, 187: 109859.
- [34] 谢莉, 邹维, 肖瑶, 等. 3 种药食同源药材中 8 种有害金属元素测定及初步健康风险评估 [J]. 中成药, 2021, 43(8): 2263-2267.
- Xie L, Zou W, Xiao Y, et al. Determination of eight harmful metal elements in three medicinal and edible medicinal materials and preliminary health risk assessment [J]. Chin Tradit Pat Med, 2021, 43(8): 2263-2267.
- [35] 徐美玲, 孙婉萍, 曲扬, 等. 植物药材重金属残留药典标准的研究 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(2): 136-140.
- Xu M L, Sun W P, Qu Y, et al. Study on pharmacopoeia standard of heavy metal residues in plant medicinal materials [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2025, 43(2): 136-140.
- [36] Jiang J H, Ou H Y, Chen R Y, et al. The ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological review of *Euryale ferox* salisb. A Chinese medicine food homology [J]. Molecules, 2023, 28(11): 4399.
- [37] 金小花, 刘青青, 王苹. 太湖流域芡实中重金属含量测定及安全性评价 [J]. 食品安全导刊, 2023(21): 61-64.
- Jin X H, Liu Q Q, Wang P. Determination of heavy metal content and safety evaluation of *Semen euryales* in Taihu Lake basin [J]. China Food Saf Mag, 2023(21): 61-64.
- [38] 张志超, 刘江红, 吴丽霞, 等. ICP-MS 同时测定不同产地芡实药材中重金属的含量 [J]. 中国药师, 2019, 22(12): 2338-2342.
- Zhang Z C, Liu J H, Wu L X, et al. Simultaneous determination of six heavy metals in *Gorgon* fruit from different origins by ICP-MS [J]. China Pharm, 2019, 22(12): 2338-2342.
- [39] 上官晨虹, 赵博, 陈琛. 药食两用天麻的安全性评价研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(18): 5946-5954.
- Shangguan C H, Zhao B, Chen C. Research progress on safety evaluation of edible and medicinal *Gastrodia elata* [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(18): 5946-5954.
- [40] 赵晓慧, 许燕, 林佳, 等. 小草坝新鲜天麻中多种金属元素评价分析 [J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(22): 5987-5992.
- Zhao X H, Xu Y, Lin J, et al. Evaluation and analysis of many kinds of metal elements in fresh *Gastrodia elata* in Xiaocaoba [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(22): 5987-5992.
- [41] 金正强, 尚丙鹏, 张公信, 等. 天麻滇黄精和玛咖 3 种云南药材及种植土壤重金属安全评价 [J]. 中国现代中药, 2022, 24(8): 1525-1530.
- Jin Z Q, Shang B P, Zhang G X, et al. Safety assessment of heavy metals in *Gastrodia elata*, *Polygonatum kingianum*, *Lepidium meyenii* and planting soil in Yunnan province [J]. Mod Chin Med, 2022, 24(8): 1525-1530.
- [42] 徐晓艳, 王宇, 王梦瑶, 等. 中药材中真菌毒素的检测与脱毒研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(2): 657-669.
- Xu X Y, Wang Y, Wang M Y, et al. Research progress on detection and detoxification of mycotoxins in Chinese medicinal materials [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2024, 55(2): 657-669.
- [43] 胡玲, 张雪纯, 周洁, 等. 炒麦芽中黄曲霉毒素污染状况及其向茶汤中的迁移研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(10): 3960-3964.
- Hu L, Zhang X C, Zhou J, et al. Study on aflatoxins contamination in processed *Hordei Fructus Germinatus* and their transfer into tea [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(10): 3960-3964.
- [44] Guo L P, Hu L, Zhu H Q, et al. Free and hidden fumonisins in hordei fructus germinatus and their transfer to the decoction [J]. World J Tradit Chin Med, 2020, 6(1): 106.
- [45] Han R X, Shao S, Zhang H Y, et al. Physico-chemical properties, antioxidant activity, and ACE inhibitory activity of protein hydrolysates from wild jujube seed [J]. J Food Sci, 2022, 87(6): 2484-2503.
- [46] 孙梅峰. 中药材酸枣仁中黄曲霉毒素和体内样本中多种真菌毒素的污染与健康风险评估 [D]. 镇江: 江苏大学, 2019.
- Sun M F. Contamination and health risk assessment of aflatoxins in Chinese herbal medicine jujube kernel and mycotoxins *in vivo* samples [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019.
- [47] 刘丽娜, 李海亮, 李耀磊, 等. 中药真菌毒素质量控制概况、限量标准制定及有关问题的思考 [J]. 中草药, 2023, 54(19): 6197-6207.
- Liu L N, Li H L, Li Y L, et al. Overview on quality control of mycotoxins in traditional Chinese medicine, limit requirements and discussion on related issues [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2023, 54(19): 6197-6207.
- [48] 赵玉升, 胡杰, 吴佳姝, 等. 苦杏仁炮制方法及药理作用研究进展 [J]. 中医药导报, 2021, 27(3): 175-180.
- Zhao Y S, Hu J, Wu J S, et al. Research progress on processing methods and pharmacological effects of Kuxingren (*Armeniacae Semen Amarum*) [J]. Guid J Tradit

- Chin Med Pharm, 2021, 27(3): 175-180.
- [49] 赵庄. 火麻仁油的药理功能及安全性研究进展 [J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 319-323.
- Zhao Z. Research progress of pharmacological functions and safety of hemp seed oil [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(21): 319-323.
- [50] 王庆颖, 张志锋, 吕露阳, 等. 花类药食同源中药安全性评价的研究进展 [J]. 中草药, 2021, 52(3): 864-872.
- Wang Q Y, Zhang Z F, Lyu L Y, et al. Research progress on safety evaluation of medicine and food homology of flower categories of Chinese materia medica [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2021, 52(3): 864-872.
- [51] 蒲含林, 姜华, 陈蓉蓉. 金银花和干姜对小鼠的毒性研究 [J]. 实用药物与临床, 2011, 14(4): 277-278.
- Pu H L, Jiang H, Chen R R. Toxicity of honeysuckle and dry ginger on mice [J]. Pract Pharm Clin Remedies, 2011, 14(4): 277-278.
- [52] 章斌. 基于化学物质基础和代谢组学方法的中药藜芦毒性及藜芦与人参配伍禁忌机制研究 [D]. 上海: 第二军医大学, 2012.
- Zhang B. Study on the toxicity of *Veratrum nigrum* L. and the incompatibility mechanisms of *Veratrum* and ginseng based on chemical substances and metabonomics [D]. Shanghai: Second Military Medical University, 2012.
- [53] 李玉姣, 郭健敏, 黄远铿, 等. 斑马鱼在药理毒理研究中的应用进展 [J]. 中南药学, 2024, 22(10): 2725-2728.
- Li Y J, Guo J M, Huang Y K, et al. Progress in the application of zebrafish in pharmacological and toxicological research [J]. Cent South Pharm, 2024, 22(10): 2725-2728.
- [54] 王俊龙, 傅丽霞, 王青洋, 等. 类器官技术在新药评价中的应用进展 [J]. 中国新药杂志, 2024, 33(20): 2131-2137.
- Wang J L, Fu L X, Wang Q Y, et al. Progress in application of organoids technique in new drug evaluation [J]. Chin J New Drugs, 2024, 33(20): 2131-2137.
- [55] 申佰轩, 郭康雅, 郭源辉, 等. 网络毒理学在中药安全性评价中的研究现状与发展思考 [J]. 药物评价研究, 2024, 47(1): 179-190.
- Shen B X, Guo K Y, Guo Y H, et al. Research status and development thinking of network toxicology in safety evaluation of traditional Chinese medicine [J]. Drug Eval Res, 2024, 47(1): 179-190.
- [56] 邵芊芊, 肖平, 张霞, 等. “禁抗”时代人工智能技术在药食同源中药资源饲料化开发中的应用策略探索 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(2): 344-353.
- Shao Q Q, Xiao P, Zhang X, et al. Application strategy of artificial intelligence technology in feed-based development of medicinal and edible homologous traditional Chinese medicine (TCM) resources in era of the “antibiotic ban” [J]. China J Chin Mater Med, 2024, 49(2): 344-353.
- [57] 林志, 张颀, 李双星, 等. 人工智能在毒性病理学中的应用 [J]. 药物评价研究, 2023, 46(7): 1603-1610.
- Lin Z, Zhang D, Li S X, et al. Overview of applications of artificial intelligence in toxicologic pathology [J]. Drug Eval Res, 2023, 46(7): 1603-1610.
- [58] 雷豆豆, 宋鹏悦, 徐青斌, 等. 色谱及联用技术在中药材农药残留检测中的应用进展 [J]. 分析试验室, 2024, 43(10): 1505-1512.
- Lei D D, Song P Y, Xu Q B, et al. Progress in chromatography and hyphenated techniques for the detection of pesticide residues in Chinese medicinal materials [J]. Chin J Anal Lab, 2024, 43(10): 1505-1512.
- [59] 魏旭雅, 邱子栋, 陈金龙, 等. 有毒乌头类中药炮制与配伍减毒机制的研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(17): 3695-3704.
- Wei X Y, Qiu Z D, Chen J L, et al. Research advancement in mechanisms of processing and compatibility for detoxication of Aconitums [J]. China J Chin Mater Med, 2019, 44(17): 3695-3704.
- [60] 屈青松, 李智勋, 周晴, 等. 发酵中药的研究进展及其“发酵配伍”理论探索 [J]. 中草药, 2023, 54(7): 2262-2273.
- Qu Q S, Li Z X, Zhou Q, et al. Research progress on fermented traditional Chinese medicine and its theoretical exploration of “fermentation compatibility” [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2023, 54(7): 2262-2273.

[责任编辑 刘东博]