·综述·

铁皮石斛食用安全性评价因素及风险评估研究进展△

王家祺[1,2]，郭顺星[1*]

1. 中国医学科学院 北京协和医学院 药用植物研究所，北京　100193；

2. 国家食品安全风险评估中心，北京　100022

［**摘要**］　当前，利用铁皮石斛为原料开发保健食品和普通食品日益增多，铁皮石斛的食用安全性评价显得尤为重要。对铁皮石斛食用安全性评价需要考虑的风险因素，如重金属污染、农药残留、活性物质、全品毒理学评价的研究及风险评估等方面进行文献综述，分析目前研究中存在的问题，提出铁皮石斛食用安全性评价的建议和对策，为铁皮石斛食用安全性评价模式的构建提供参考。

［**关键词**］　铁皮石斛；食品安全风险评价；风险评估

［**中图分类号**］　R284　　［**文献标识码**］　A　［**文章编号**］　1673-4890(2021)05-0950-05

doi:10. 13313/j. issn. 1673-4890. 20200409002

Research Progress on Food Safety Evaluation Factors and Risk Assessment of *Dendrobium officinale*

WANG Jia-qi[1,2], GUO Shun-xing[1*]

1. *Institute of Medicinal Plant Development*, *Chinese Academy of Medical Sciences*, *Peking Union Medical College*, *Beijing* 100193, *China*;

2. *China National Center for Food Safety Risk Assessment*, *Beijing* 100022, *China*

［**Abstract**］　At present, more and more health food and common food are developed with *Dendrobium officinale* Kimura et Migo as raw material. It is very important to evaluate the edible safety of *D. officinale*. In this paper, the risk factors to be considered in *D. officinale* food safety evaluation were reviewed. The heavy metal contamination, pesticide residues, active substances, research progress of toxicological evaluation of whole product and risk assessment status quo were reviewed, the existing problems in the current research were analyzed, and suggestions and countermeasures on the safety of *D. officinale* were put forward . It is of great significance for the food safety risk analyze of *D. officinale*.

［**Keywords**］　*Dendrobium officinale* Kimura et Migo; food safety risk analyze; risk assessment

铁皮石斛 *Dendrobium officinale* Kimura et Migo 为兰科石斛属多年生附生型草本植物。随着我国古代药食同源理论在现代食品、药品领域的应用，铁皮石斛被开发为保健食品或普通食品的研究较多，其食用安全性评价因素研究和风险评估研究意义重大。本文综述了铁皮石斛的重金属、农药残留、活性物质等食用安全性评价因素及风险评估现状，并提出探索适用于铁皮石斛的食用安全风险评估模式。

铁皮石斛食用安全性评价的前提是对其风险的污染来源进行研究。药用植物的一般污染来源主要有内源性和外源性。外源性污染包括化学污染、生物污染和物理污染。化学污染主要包括化肥农药、有害金属和非金属、有机物和无机物等污染；生物污染主要包括寄生虫、微生物污染；物理污染主要包括微波辐射、放射性污染物等[1]。药用植物的内源性危害主要是植物产生的内源性物质，如生物毒素等带来的危害。铁皮石斛的外源性污染来源主要是化学污染，如重金属、农药残留等。铁皮石斛的内源性污染少有记载，由于铁皮石斛较为平和，多用于食疗，古代和现代文献中未见铁皮石斛毒性。铁皮石斛含多种活性物质，对其活性物质的风险评估对食用安全性评价意义重大。本文对铁皮石斛重金属污染、农药残留污染、活性物质、全食品等风险评估相关因素的研究进展进行综述。

△［**基金项目**］　国家自然科学基金项目(81573526)

*［**通信作者**］　郭顺星，研究员，研究方向：生药学；E-mail：sxguo1986@163. com

1　相关文献研究概况

铁皮石斛已载入《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)2015 年版，具有滋阴清热、益胃生津、增强免疫力等功效，含多糖、生物碱等多种成分。

经文献统计(数据来源于医学科学数据库-万方数据库，检索式：主题词“铁皮石斛”)，我国铁皮石斛的研究起步较晚，于 20 世纪 80 年代末才逐渐有相关研究，随后文献数量总体呈逐年递增趋势。1994—2019 年，铁皮石斛相关研究论文发表 3087 篇，其中期刊论文 2514 篇、学位论文 370 篇、会议论文 203 篇。国内关于铁皮石斛的研究可以分为 2 个阶段：第一阶段为 1989—2000 年，这一阶段文献较少，仅在探索阶段；第二阶段为 2001 年至今，这一时期的文献量较大，表明近年来铁皮石斛的相关研究越来越受到学界的关注和重视。

目前，对铁皮石斛的已有文献研究集中在资源调查、人工种植、种源鉴定及药理作用等方面，尤其对铁皮石斛内生真菌的研究较多。兰科是典型的菌根植物，铁皮石斛人工栽培成功后，研究内生菌对其产量、质量和药理活性影响等方面的文献也逐年增多。

2　重金属污染及风险评估

铁皮石斛的食用安全性评价的重要前提，是对其重金属污染因素及风险评估进行研究。重金属污染是影响药用植物安全和质量的关键因素，其污染途径有环境污染、药材加工过程中带入等。土壤、水、大气等是药用植物种植及药材加工的重要环境因素[2]，由于工业“三废”的排放，药用植物中的重金属不断蓄积。《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》WM/T2—2004 中关于药用植物中重金属规定限量值的有铅、镉、汞、铜、砷 5 种。

2.1　重金属污染

杜静等[3]对铁皮石斛中铅、镉、汞、铜、砷 5 种重金属元素的含量进行检测，提示铅、镉、汞均有不同程度的超标，但按《中国药典》2015 年版中规定的用量不会引起中毒症状。杨德毅等[4]对铁皮石斛中砷、铅、镉、铜 4 种重金属进行检测，并计算富集系数(AF)，提示 AF 的大小依次为镉 > 铜 > 砷 > 铅。

铁皮石斛不同部位对重金属的富集能力不同。倪张林等[5]选取同样大棚种植的铁皮石斛进行检测，结果表明，总体重金属含量处于较低水平，其中叶和花的重金属含量要显著高于茎。此外，不同栽培模式对铁皮石斛中的重金属含量也有影响，倪张林等[6]对大棚栽培、树栽培和石壁栽培的铁皮石斛检测铅、镉、砷、铜、铬、铝 6 种重金属元素，结果表明，树栽培、石壁栽培的铁皮石斛中铅含量显著高于大棚栽培。

2.2　重金属污染风险评估

国内对重金属元素的风险评估主要集中在普通食品类，主要应用的方法有单因子污染指数法、内梅罗综合指数法、每周可耐受摄入法、目标危险系数法等，同时还可运用不同方法进行综合评估。单项污染指数法是通过评价标准对单项指标进行分析评价，经过指数计算选取各因子中最大类别为样本的总体评价结果[7]。内梅罗综合指数法是在无量纲的单项指标最大值和平均值的基础上形成的综合评价方法，既反映了各单项污染物对环境污染的影响水平，又反映了其中重金属高含量污染物的影响水平。目标危险系数法、每周可耐受摄入量法则通过食物量计算重金属污染积累，也可以用来评价重金属对人体健康的影响程度。

由于泡茶饮是铁皮石斛的主要食用方式之一，因此可以参考茶叶类别进行重金属的风险评估。胡承成等[8]对茶叶中铅、镉、铬、汞、砷、铜 6 种重金属进行检测，并采用单项污染指数法、内美罗综合污染指数法对单一重金属元素进行污染程度的评估；刘淑娟等[9]通过研究镉在土壤-茶树-茶叶-茶汤的不同存在形态和迁移规律，分析人体通过饮茶实际摄入的镉的量。这些研究都可以作为参考。

药食同源植物中的重金属风险评估研究也具有参考价值。左甜甜等[10]对鱼腥草等 9 种植物中的铅、镉、汞、砷 4 种重金属的暴露风险按照风险评估的基本步骤进行评估，在危害识别时采用点评估方式，在暴露评估时参考了 5739 名调查者的消费量数据。结果表明，除鱼腥草外，其他 8 个药食同源植物的安全性风险较低，并推算出了限量值。同时，左甜甜等[11]对西洋参、山楂、枸杞子 3 种药食同源植物中的铅、镉、砷、汞、铜残留量进行检测并进行风险评估。结果表明，其重金属每周平均摄入量均小于世界卫生组织(WHO)推荐的每周耐受摄入量(PTWI 值)的 10%，食用风险较低。

3　农药残留及风险评估

农药按照防治对象的不同分为杀菌剂、杀虫剂、除草剂等，农药残留是使用农药后一定时期内，残留于土壤、大气和水等环境中以及植物体内未被降解的微量农药原体、有毒代谢物、降解物和杂质等。《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》WM/T2—2004 中对六六六、滴滴涕、五氯硝基苯、艾氏剂 4 种农药规定了残留限量值。研究铁皮石斛中的常见病害及农药使用，对做好铁皮石斛的农药残留风险评估工作尤为重要。

3.1　主要病害及农药使用

近年来，随着铁皮石斛栽培面积不断扩大，对病害及防治的研究越来越多。铁皮石斛病害是影响其产量与质量的重要因素，研究较多的病害有黑腐病、白绢病、根腐病、炭疽病等。黑腐病主要危害铁皮石斛的叶、根、茎，主要表现为叶面出现湿斑，叶片干燥后呈淡褐色至黑褐色；白绢病主要危害铁皮石斛茎的基部，主要表现为基质表面出现绢状菌丝，近基质的茎上出现黄色至淡褐色的病斑，后期病斑变成褐色至黑褐色；根腐病主要危害铁皮石斛茎、根尖，主要表现为病变部位出现环状或长环形褐色斑，斑上有明显的腐烂迹象；炭疽病主要危害铁皮石斛叶，主要表现为叶片形成深褐色或黑色病斑，周围由内到外形成圈状黑色斑纹[12]。

铁皮石斛病害受地域影响较大。谢昀烨等[13]对浙江的 17 个铁皮石斛生产基地中 1389 份铁皮石斛的发病样本进行收集，发现枯萎病、白纹羽病和木腐病是浙江省铁皮石斛根部的主要病害。宁沛恩[14]对广西容县铁皮石斛的病害进行调查，发现在该地区铁皮石斛的主要病害有炭疽病、细菌性软腐病和花叶病毒病等。李海明等[15]对福建人工种植的铁皮石斛进行病害调研，发现福建地区人工种植铁皮石斛的主要病害有白绢病、软腐病、黑斑病、炭疽病等。

目前，防治铁皮石斛病害的常用农药有多菌灵、吡虫啉、苯醚甲环唑等[16]。我国农药采取登记注册制管理，但登记注册周期长、种类少，铁皮石斛在种植过程中滥用农药现象时有发生。因此，做好铁皮石斛中农药残留的检测工作十分重要。周敏等[17-18]采用气相色谱-串联质谱内标法、分散固相萃取-气相色谱-串联质谱法进行铁皮石斛农药残留检测；王吉祥等[19]采用固相萃取-气相色谱-三重四极杆串联质谱法测定铁皮石斛中 19 种农药残留；付岩等[20]利用啶氧菌酯超高效液相色谱-串联质谱法（UPLC-MS/MS）检测铁皮石斛的农药残留。以上研究对铁皮石斛农药残留检测方法的建立和筛选具有价值。

3.2　农药残留风险评估

长期低剂量接触农药残留会对人体健康产生潜在慢性损害，包括对人体神经系统、呼吸系统、生殖系统、皮肤以及免疫功能损害等，因此对农药残留量进行风险评估十分重要。农药残留风险评估是系统利用科学技术及信息，对农药在人体健康和生态环境中产生不利影响的可能性、严重性进行科学评价的过程。原中华人民共和国农业部发布《食品中农药残留风险评估指南》《食品中农药最大残留限量制定指南》（中华人民共和国农业部公告第 2308 号）等文件，指导食品中农药残留限量的科学评估；同时，还发布了《农药施用人员健康风险评估指南》《卫生杀虫剂健康风险评估指南》《农药登记环境风险评估指南》等行业指南，用来指导农药残留和农药上市前的评估。

我国农药风险评估的模型主要有对施用人员的 COPrisk 模型、蚊香类产品 CML 模型、气雾剂模型、驱避剂模型、旱田地下水 ChinaPEARL 模型和水稻田地表水 TOP-Rice 模型等[21]。农药残留的暴露评估通常采用动物实验、体外细胞培养和流行病学调查等方法，利用毒性评价数据，借助农药暴露对动物或体外细胞模型的影响，间接评价农药暴露对人群健康的影响[22]。

药食同源植物的农药残留评估对开展铁皮石斛农药残留评估具有参考价值。杨志敏等[23]对甘肃 93 批枸杞子样品中 48 种农药残留量进行检测，用慢性膳食摄入风险（% ADI）和急性膳食摄入风险（% ARfD）对检出农药进行慢性和急性膳食摄入风险评估，以危害指数法（HI）评估其累积暴露风险情况。乔浩等[24]对柴达木地区的 150 个枸杞子干果样品进行农药残留检测，用% ADI 和% ARfD 对检出农药进行慢性和急性膳食摄入风险评估，并对存在的高风险农药进行识别采用点评估模式。

近年来，对铁皮石斛的农药残留风险评估的研究，尤其对农药残留降解率的研究为铁皮石斛膳食风险评估、科学制定农药残留限量提供了依据。姜武等[25]对铁皮石斛中苯醚甲环唑、多菌灵、烯酰吗啉 3 种农药残留进行残留动态及最佳清除方法的研究；梁赤周等[26]对浙江、云南铁皮石斛中噻森铜的

最终残留和降解率进行研究，建议今后我国铁皮石斛中噻森铜的最大残留限量为 5 mg·kg^{-1}。

4　活性物质及风险评估

铁皮石斛含多糖、生物碱、菲类、联苄类、氨基酸等多种成分，铁皮石斛多糖（*Dendrobium officinale* polysaccharides，DOP）为铁皮石斛的主要活性成分，也是其中含量最高的物质，其质量分数可以达到 30% 以上，在石斛属植物中较高。

对于 DOP 的风险评估在目前研究领域尚属空白，可以探索参考对营养素的风险评估模式。我国对营养素风险评估一般分为 4 个步骤，即整合摄入与健康危害效应相联系的数据，进行识别与摄入相关的健康危害效应，在评价数据质量的基础上，用 Meta 分析的方法以提供量化的平均效果来回答研究的问题；关键健康危害效应的危害特征描述中应包括不同摄入剂量的不同健康危害效应的性质和影响；通过摄入-效应关系评估获得营养素安全摄入上限（upper levels，UL）；危害特征描述与识别易感的亚人群。以上 4 个步骤中最重要的是需要获得 UL[27]。

对于营养素的风险评估，已经开展的研究有韩军花等[28]应用最高强化水平（MSFL）计算模型，计算了不同经济发展水平下，不同年龄、性别人群食物维生素 A 的最高强化水平；钟伟等[29]提出可用于我国微量营养素最高强化量的评估模型；牛犁天等[30]以 2013 年版膳食营养素参考摄入量（DRIs）中的微量营养素 UL、中国居民膳食营养素推荐摄入量 RNI（适宜摄入量 AI）数据为基础，以微量营养素风险等级划分方法为依据，将 UL/RNI 进行了营养素的分级；邓梦雅等[31]采用营养素安全摄入上限法对蔬菜中矿物质含量进行风险评估，结果表明，来自蔬菜的矿物质元素摄入风险均很低。

5　全品毒理学评价

铁皮石斛全品的风险评估应当建立在食品安全性毒理学评价基础上。食品安全性毒理学评价是通过动物实验和对人群的观察，阐明食品中的某些物质毒性及潜在危害的过程。进行食品毒理安全性评价的基础是毒理学动物实验，依据标准是《食品安全国家标准 食品安全性毒理学评价程序》GB 15193.1—2014 及其系列毒理学评价标准，包括急性经口毒性实验、遗传毒性实验、28 d 经口毒性实验、90 d 经口毒性实验、致畸实验等。

目前，对铁皮石斛开展的毒理学评价实验主要有大鼠 90 d 喂养实验和致畸实验等。李姿等[32]对云南产铁皮石斛进行大鼠 90 d 喂养实验，结果表明，各实验组大鼠总体质量、增加体质量、进食量及食物利用率差异无统计学意义。秦光和等[33]对云南产铁皮石斛进行致畸实验，孕鼠实验表明，受试物各剂量组孕鼠总增加体质量、卵巢质量、子宫连胎质量、黄体数、着床数、活胎数与溶剂对照组比较差异无统计学意义；胎鼠实验表明，2500 mg·kg^{-1}组胎鼠体质量与对照组比较差异有统计学差异（$P < 0.05$）；其余各项指标差异无统计学意义。

采用传统毒理学动物实验进行安全性评价是较可靠的，但这种方法耗时长、成本高，因此有必要研究新的方法取代传统动物毒性实验。随着细胞分子生物学在毒理学研究中的应用，一些新技术（如毒理基因组学、毒理蛋白质组学和毒理代谢组学等）为研究外源化学物质的毒性及分子机制提供可能。目前，替代毒理学的基本方法有体外技术及人类模型的使用（原代培养的细胞、组织和器官）、低等物种（如植物、细菌、真菌、昆虫或软体动物）的使用、物理化学方法与计算机的使用（OSAR 模型的建立）等[27]。在铁皮石斛的安全性评价中应当适当考虑进行替代毒理学方法的探索，以减少成本和时间。

6　结语与展望

铁皮石斛食用安全性评价工作十分重要，但我国目前对此类药食同源植物相关研究基础相对薄弱，在国内外开展的研究也较少。在今后的工作中，应当对铁皮石斛的食用安全性评价因素进行梳理，并对其进行风险评估模式探索。铁皮石斛食用安全性评价应当对重金属污染、农药残留、活性物质等潜在风险因素进行梳理，探索参考新食品原料安全性评估模式，对其全品的毒理学资料进行整理、分析，在成分分析、卫生学检验、毒理学实验基础上按照危害因子识别、危害特征描述、暴露评估、危险性特征描述的步骤和方法进行风险评估，得出安全性评价结论。

在今后开展铁皮石斛食用安全性评价的研究时，应重点关注以下问题：不同生长方式下（野生或人工种植）的铁皮石斛在不同的种植、生产加工环节的风险来源；未经加工处理的或经过简单物理加工的铁皮石斛，在对非食用部分去除或可食部位择取方法等加工工艺的风险关键控制步骤；我国铁皮石斛野生资源的规模、生长情况和储备量，对野生资源的保护及开发可能对生态环境带来的影响；野生资源

的采集点、采集时间及可能风险污染来源；铁皮石斛中活性物质风险评估模式的研究等。做好铁皮石斛的食用安全性评价研究，对我国药用植物的食用安全性评价模型建立具有重要意义。

参考文献

[1] 聂颖,伊萍,聂莉,等. 食品中的化学污染与人体健康[J]. 中华医学实践杂志,2004,3(5):464-465.

[2] 吴晓波,薛健. 中药重金属污染的现状及治理对策概况[J]. 江苏中医药,2010,42(6):77-79.

[3] 杜静,秦民坚,黄林芳,等. 石斛中微量元素的含量测定及其安全性评价[J]. 中国药房,2012,23(47):4477-4479.

[4] 杨德毅,吴梅,吾建祥. 铁皮石斛对重金属的富集能力[J]. 农技服务,2019,36(7):43-44.

[5] 倪张林,袁新跃,叶彩芬,等. 不同栽培模式下铁皮石斛中重金属含量及健康风险评估[J]. 江西农业大学学报,2017,39(4):686-690.

[6] 倪张林,汤富彬,喻晴,等. 优化 Rpa 电压-电感耦合等离子体质谱法测定铁皮石斛中不同部位的 14 种金属元素[J]. 分析科学学报,2016,32(5):664-668.

[7] 张戈,于大涛,袁仲杰,等. 海水水质评价方法比较分析[J]. 海洋开发与管理,2009,26(10):102-105.

[8] 胡承成,何洁,刘文锋. 黎平茶叶重金属含量与安全性评价[J]. 贵州农业科学,2018,46(6):126-129.

[9] 刘淑娟,李赛君,钟兴刚,等. 茶叶镉含量状况与风险评估[J]. 湖南农业科学,2017(6):116-118.

[10] 左甜甜,金红宇,屈浩然,等. 药食同源品种中重金属及有害元素的风险评估[J]. 中国药业,2019,28(9):31-34.

[11] 左甜甜,李耀磊,陈沛,等. 西洋参、山楂、枸杞子中重金属及有害元素残留量测定及初步风险评估[J]. 药物分析杂志,2016,36(11):2016-2021.

[12] 宋喜梅,李国平,何衍彪,等. 铁皮石斛人工栽培主要病虫害防治[J]. 安徽农业科学,2012,40(32):15697-15698,15714.

[13] 谢昀烨,方丽,王连平,等. 浙江省铁皮石斛病害的发生及调查[J]. 浙江农业科学,2017,58(10):1757-1759,1762.

[14] 宁沛恩. 容县铁皮石斛病虫害发生情况及防治措施初报[J]. 广西植保,2012,25(2):20-23.

[15] 李海明,王伟英,林江波,等. 大棚铁皮石斛主要病害的发生与防治[J]. 中国园艺文摘,2017,33(6):223-224.

[16] 钟冬莲. 铁皮石斛中农药多残留检测技术及应用研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2017.

[17] 周敏,朱萌萌,王珍,等. QuEChERS-VADLLME-内标法-GC-MS/MS 快速测定铁皮石斛中的农药残留[J]. 食品研究与开发,2019,40(16):135-145.

[18] 周敏,朱萌萌,何晓明,等. 分散固相萃取-气相色谱-串联质谱法测定铁皮石斛中 41 种农药的残留量[J]. 理化检验-化学分册,2019,55(2):162-170.

[19] 王吉祥,王亚琴,牛之瑞,等. GC-MS/MS 法测定铁皮石斛中 19 种农药残留[J]. 食品研究与开发,2016,37(14):131-135.

[20] 付岩,王全胜,张亮,等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定铁皮石斛中啶氧菌酯残留[J]. 浙江农业科学,2018,59(10):1903-1905.

[21] 王以燕,姜志宽. 卫生用农药登记管理与生产应用的新政策变化和要求[J]. 中华卫生杀虫药械,2018,24(1):1-5.

[22] 闫慧芳,朱宝立,黄汉林,等. 中国一般人群血和尿中重金属和有机物负荷水平调查方法和实验室质量控制结果[J]. 中华预防医学杂志,2014,48(2):147-150.

[23] 杨志敏,许淑琴,张文,等. 甘肃枸杞中农药残留水平分析及风险评估[J]. 农产品质量与安全,2019(5):44-48.

[24] 乔浩,孙小凤,韩燕,等. 柴达木地区枸杞农药残留风险评估[J]. 农产品质量与安全,2017(5):38-43.

[25] 姜武,吴志刚,陶正明,等. 铁皮石斛中 3 种常用农药的残留动态及最佳清除方法研究[J]. 农药学学报,2017,19(3):355-365.

[26] 梁赤周,虞淼,秦丽,等. 噻森铜在铁皮石斛中残留及消解动态[J]. 农药科学与管理,2018,39(1):47-52.

[27] 杨杏芬,吴永宁,贾旭东,等. 食品安全风险评估-毒理学原理、方法与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2017:105-238.

[28] 韩军花,李晓瑜,李艳平. 我国食物维生素 A 强化水平的风险评估[J]. 中华预防医学杂志,2012,46(4):294-298.

[29] 钟伟,李湖中,韩军花,等. 微量营养素最高强化量评估模型比较研究[J]. 现代预防医学,2018,45(8):1384-1387.

[30] 牛犁天,韩军花,李湖中,等. 基于 2013 版 DRIs 的微量营养素风险等级划分[J]. 中国食品添加剂,2016(4):94-98.

[31] 邓梦雅,朱丽,吴东慧,等. 蔬菜中矿物质含量测定、营养评价及风险评估[J]. 食品研究与开发,2018,39(9):97-102.

[32] 李姿,刘敏,胡嘉想,等. 铁皮石斛对大鼠血液生化指标影响的研究[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(11):3579-3583.

[33] 秦光和,刘敏,王伟,等. 铁皮石斛对孕鼠及仔鼠胚胎发育的影响[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(12):3971-3974.

（收稿日期：2020-04-09　　编辑：戴玮）