

Study on Quality and Safety of Edible Fungi and Research Progress on Edible Fungi Detection Technology

Fengjuan Jia^{1,2,3}, Zhiqing Gong^{1,2,3}, Yueming Wang^{1,2,3}, Wenjia Cui^{1,2,3}, Yansheng Wang^{1,2,3}, Wenfeng Shen^{1,2,3}, Wenliang Wang^{1,2,3*}

¹Institute of Agro-Food Science and Technology, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan Shandong

²Key Laboratory of Agro-Products Processing Technology of Shandong Province, Jinan Shandong

³Key Laboratory of Novel Food Resources Processing, Ministry of Agriculture, Jinan Shandong

Email: jfj.5566@163.com, cywwl@163.com

Received: Oct. 1st, 2017; accepted: Oct. 13th, 2017; published: Oct. 18th, 2017

Abstract

In this paper, the problems of the quality and safety of edible fungi, mainly including pesticide residues, hazardous and toxic heavy metals, formaldehyde, sulfur dioxide, pathogenic microorganisms and transgenic ingredients, were introduced. Moreover, research progresses of the detection technology of all these unsafe factors were summarized and analyzed, and the development of the new technology to detect edible fungi was prospected.

Keywords

Edible Fungi, Detection, New Technology, Preservation

食用菌质量安全及检测技术研究进展

贾凤娟^{1,2,3}, 弓志青^{1,2,3}, 王月明^{1,2,3}, 崔文甲^{1,2,3}, 王延圣^{1,2,3}, 沈文凤^{1,2,3}, 王文亮^{1,2,3*}

¹山东省农业科学院农产品研究所, 山东 济南

²山东省农产品精深加工技术重点实验室, 山东 济南

³农业部新食品资源加工重点实验室, 山东 济南

Email: jfj.5566@163.com, cywwl@163.com

收稿日期: 2017年10月1日; 录用日期: 2017年10月13日; 发布日期: 2017年10月18日

*通讯作者。

文章引用: 贾凤娟, 弓志青, 王月明, 崔文甲, 王延圣, 沈文凤, 王文亮. 食用菌质量安全及检测技术研究进展[J]. 农业科学, 2017, 7(7): 481-488. DOI: 10.12677/hjas.2017.77062

摘要

本文综述了现阶段食用菌产品存在的食品安全问题, 主要包括农药残留、有毒有害重金属、甲醛、二氧化硫、病原微生物以及转基因成分等其他不安全因素, 并对上述不安全因素检测方法的研究进展逐一综述, 最后对今后食用菌的检测新技术进行了展望。

关键词

食用菌, 检测, 新技术, 展望

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

食用菌味道鲜美, 高蛋白质、低脂肪, 富含多种氨基酸、维生素、微量元素和生理功能活性成分, 营养丰富, 味道鲜美, 对某些疾病还具有一定的治疗和预防作用, 深受广大消费者喜爱, 被世界公认为“健康食品”[1][2]。现今食用菌已成为继粮、棉、油、果、菜之后的第六大类农产品。据中国食用菌协会统计[3]: 我国食用菌从1978年产量仅6万吨产值不足1亿元到2014年产量已超过3000万吨产值近2000亿元, 目前我国食用菌产量占全球的75%以上, 已经成为世界食用菌生产第一大国。据商务部对外贸易司统计, 2012年我国出口鲜香菇1142吨, 出口金额为347万美元; 出口干香菇2231吨, 创汇3131万美元, 已经创造出了惊人的经济、社会价值, 显示出了极大的发展潜力。

特别是通过近年来的发展, 我国食用菌产业已初步形成干鲜品、深加工食品、医药保健品等多个消费产业, 涉及农业、林业、畜牧业、生物产业、食品工业(罐头加工)、制药等多个领域。整体来讲, 我国食用菌产业市场正逐步趋向完善发展[4][5][6]。此外, 随着现代科学技术的发展, 各食用菌的营养成分和药用价值不断被揭示, 其食用与药用价值也更受重视。然而, 由于食用菌的自身特性和在精深加工以及流通环节的某些违规操作, 致使其产品存在一定安全隐患, 其中主要有农药、重金属污染, 甲醛、二氧化硫残留, 转基因成分以及生物性污染等[7]。世界各地高度重视食用菌食品的质量安全检测, 投入大量的人力物力进行相关检测监控技术的开发, 因此, 加快开发具有我国自主知识产权的快速、灵敏、稳定的食品安全检测技术及产品, 保障我国食用菌产业的健康发展, 势在必行。本文主要介绍了食用菌中常见的几种污染物质及其在检测技术研究进展。

2. 农药残留及其检测技术

农药残留问题已经成为影响食用菌产品质量安全问题的关键因素。早期的农药残留检测分析技术一般仅限于微生物法、比色法和化学分析法[8]。目前的农药残留检测分析技术应用比较普遍的是高效液相色谱(HPLC)、气相色谱(GC)及其联用技术等。气相色谱可分析农药的多残留, 但不适应现场检测。

2.1. 气相色谱法(GC)

气相色谱法是一种经典的检测分析方法。它简单高效、灵敏度高。关于气相色谱检测食用菌的报道

已有很多：张友松等[9]用丙酮提取，以二氯甲烷萃取的方法，测定了香菇中残留的噻菌灵，其结果为83.3%~107.2%的回收率，符合准确度的残留量要求，3次变异系数为7.4%~8.9%，在残留测定允许范围内。精确度均符合残留量测定要求。陈彦凤等[10]分别对从超市、食品商店、农贸市场、批发市场采集到的食用菌干制样品的有机磷类、拟除虫菊酯类和氨基甲酸酯类进行了农药残留检测。180份样品中结果检出有农药残留的有39份，总检出率为21.67%。检出率比较高的3种农药分别是灭多威(5.99%)、甲氰菊酯(4.79%)和仲丁威(4.79%)。采集样品的农药残留检出率由高到低的场所为农贸市场、食品商店、批发市场、超市。最后结论是市售的干制食用菌有一定程度的农残污染。

2.2. 高效液相色谱分析技术(HPLC)

高效液相色谱分析技术也是一种传统的检测方法，现在使用范围仍很广泛。冯晓青[11]等利用HPLC来检测食用菌中的呋喃丹残留量，建立了高灵敏度、简单的检测方法。在0.2~5.0 ng/mL范围内，呋喃丹呈良好线性关系， r 大于0.999，测定低限是0.01 mg/kg。李瑞雪等[12]以柱前衍生化法分析桑枝黑木耳中1-脱氧野尻霉素(1-deoxynojimycin, DNJ)的含量。结果表明，以茚甲氧酰氯(FMOC-Cl)为衍生化试剂来衍生化DNJ，选择Waters X-bridge C18色谱柱，乙腈-0.1%醋酸(体积比55:45)为流动相，1.0 mL/min为流速，254 nm为UV检测波长时，DNJ-FMOC峰面积与DNJ浓度呈正相关，其相关系数为0.9966。该检测方法快速、灵敏、准确、稳定、快捷。

2.3. 色-质联用分析法(GC-MS、LC-MS)

气-质联用(GC-MS)和液-质联用(LC-MS)多用于多组分混合物的定性和定量分析，目前在农药残留分析中应用比较广泛[13][14]。张建莹等[15][16][17]建立新鲜食用菌中荧光增白剂、变光增白剂和荧光增白剂的超高效液相色谱串联质谱定量检测方法。方法采用甲醇水溶液水浴振荡提取样品中的荧光增白剂，再经过弱阴离子的固相萃取柱进行净化，在负离子的模式下进行检测，采用内标法来定量。该方法准确、灵敏度高且重现性好，不仅适用于鲜食用菌荧光增白剂85的检测、还可以进行增白剂71与增白剂113的检测。Tian [18]等利用(UHPLC-MS/MS)检测了食用菌中毒死蜱、哒螨灵及辛硫磷的残留含量，比较了正、负离子的电离方式，检出限是1~10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。刘进奎[19]等对食用菌中的80种农药的基质效应进行了分析，他认为在检出限和灵敏度允许前提下，基质效应强的农药适当稀释来进行补偿。

2.4. 免疫分析法

免疫分析法被列为90年代优先研究、开发和利用的农药残留分析技术，具有操作简便、快速、灵敏度高、特异性强、检测费用低等优点，是初筛测定致癌物和一些剧毒农药的好方法。目前国内外市场上已经有多种农残检测的ELISA试剂盒销售。美国农业部食品安全监测司等已经制定了详细评价免疫技术在农药分析中应用的指南和农药残留免疫学检测商品试剂盒评定和认可的建议标准，使其成为一种切实可行的分析方法[7]。

2.5. 其他新型的检测技术

超临界流体色谱(SFC)综合了气象色谱、高效液相色谱的优点，同时克服其缺点成为一种强有力地分离和检测手段。

毛细管电泳(CE)适用于那些用传统高效液相色谱难以分离出的离子化样品，对其分离、分析，具有分离性能高、速度快、范围广、微量进样、几乎无废液等的优点。目前在农药残留的分析中，应用较多的有毛细管区带电泳(CZE)、胶束电动毛细管色谱(MECC)。

生物传感器, 其中有酶、微生物和免疫传感器等, 它们能特定选择某类化学或生物物质并可参与其反应。目前, 农药的残留已经可以通过酶和免疫传感器来快速准确检测, 但其结果的稳定性和传感器的寿命问题仍然是现在需要解决的重要问题。

色谱分析法是经典、操作较简单、高分离度、高灵敏度、应用范围最广泛的一种检测方法, 可以高效分离检测分子量大、极性强的离子型样品, 但最大的缺点是仪器的条件较高, 不易于现场检测。酶抑制、免疫学法相对更灵活、更适合现场测定。

2.6. 农药残留的分析及发展趋势

随着我国经济水平的提高、农副产品贸易交流的发展以及人们对食品安全质量健康水平要求的加强, 对农药残留最低量要求的严格, 迫使农药残留的分析技术更高灵敏度、更高精确度、更快速、更环保的方向发展。如生物传感器、免疫技术、手提式光谱或色谱仪, 基质固相分散、超临界流体萃取等样品的先进预处理技术[20]。

3. 重金属污染及其检测技术

重金属的污染主要是指具有显著生物毒性的汞、铅、镉、铬、铊和类金属砷等重金属。食用菌对重金属的富集作用最早是从积累镉发现的[21], 后来的研究发现很多食用菌都对重金属有较明显的富集作用, 不同种属、同种属不同个体间甚至同一个体的不同部位间重金属富集程度都是不同的[22] [23]。Caracia 等发现, 鸡腿菇菌褶中铅平均含量高于其余部分的铅的含量[24]。

3.1. 原子吸收光谱法(AAS)

原子吸收光谱具有高度的专一性、可靠性、易于使用性, 但因为其是单因素分析法, 获得不同元素含量需重复多次地测定, 所以工作效率比较低。李萍等[25]用测汞仪原子吸收光谱法测定了野生食用菌的总汞, 建立了直接应用测汞仪测定菌中汞含量的方法。样品经过均质机均质、称量后进样。样品经催化管加热, 汞在齐化管与金粉发生反应生成金汞齐, 再在高温的作用下金汞齐分解为汞原子蒸气, 在吸收池内 253.7 nm 处进行吸收测定。用此种仪器检测法不需要对样品进行前处理进样量少, 而且该方法的灵敏度高、精密度好、结果准确可靠、操作简单快速、没有试剂污染、检测速度快且运行成本不高。卢文芸等[26]为了解食用菌重金属的污染状况, 利用了原子吸收分光光度法对贵阳市、铜仁市的香菇重金属进行了评价。试验表明, 两市生产的香菇、金针菇、木耳、蘑菇 4 种大宗食用菌都存在铜、铬、镍、锰, 4 种大宗食用菌里面铬含量都超国标, 铜含量都符合国标。

3.2. 原子荧光光度法(AFS)

原子荧光光度法是通过测量待测元素的原子蒸发汽在辐射下能激发产生荧光的发射强度来测定待测元素的一种分析方法。郑国旗[27]用该方法检测了保山市随机抽样的青头菌、红牛肝菌、谷熟菌、鸡油菌等 40 个样本中的砷、汞含量, 结果检测出有 13 份超标, 其中均为汞超标, 含量最高达到 0.317 mg/kg, 合格率为 67.5%。陈美珠[28]等也用此方法检验了龙岩市食用菌的汞含量, 结果合格率为 99.15%, 相对于其他重金属镉、铅合格率为最高。由此可见不同地区的重金属污染程度存在明显差异。

3.3. 电感耦合等离子发射光谱法(ICP)

电感耦合等离子发射光谱法与其他技术结合后, 有电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)分析技术和电感耦合等离子体发射光谱(ICP-AES)。ICP 法具有可同时检测多种金属元素, 并且仪器具有操作简单、检测周期短、灵敏度高、精密度好、准确性高等优势。目前, 在食用菌方面的“行标”及“国标”中还没有

相关检测标准的制定。于灏等[29]研究了检测食用菌中微量元素的多种方法,但有的受仪器自身的限制和试样基质的干扰,往往不能系统的推广,更无法建立标准。采用 ICP 法能同时检测出几种金属元素,优化了其实验条件,为食用菌金属元素规范化检测的建立提供了方法和依据。

3.4. 高效液相色谱法(HPLC)

痕量重金属离子跟有机试剂能形成有色的稳定络合物,然后经过 HPLC 分离,紫外-可见检测器检测,可以实现多种元素的同时测定。

3.5. 酶抑制法

酶抑制法检测重金属污染的基本原理是:金属离子与酶中心的巯基结合改变了其结构性质,酶活下降,同时酶-底物系统中显色剂的吸光度、颜色、电导率、pH 等也会发生变化,这些变化有的可以通过肉眼直接来区别但也有不少必须借助于光信号、电信号等来区别。与传统的检测技术相比,它更方便、快速、经济,非常适合现场检测。

3.6. 免疫学法

免疫学检测技术具检测速度快,费用低廉,仪器简单易携,灵敏度高和选择性强等优点,可用于现场检验。

另外,重金属的污染检测技术还包括超细粉体技术、超临界流体萃取技术、液体深层发酵技术、冷冻干燥保鲜技术、微胶囊技术等。该检测技术可检测食用菌的重金属污染程度,从生产源头上保证人体健康[30]。

4. 甲醛残留污染及其检测技术

甲醛是细胞毒物,破坏人体中的细胞蛋白质,损坏肝肾脏并致癌,10 g 甲醛即可致命。甲醛又是一种重要的农药和消毒剂,因效果好且价格便宜被广泛应用。目前食用菌生产也普遍使用甲醛。吊白块(又名甲醛合次硫酸氢钠或次硫酸氢钠甲醛)能使食品外观看起来更洁白光滑,所以有不少不法商贩以此使用来提高产品销量。它的毒性就是它分解产生甲醛,进入人体引起人体细胞突变。另外,因为食用菌菌丝的最适生长湿度、温度各有差异,所以其对营养物质的分解、同化能力各不相同,有的食用菌本身代谢就会有甲醛产生[31]。当前,甲醛残留检测的常用技术有:分光光度法,气相、液相色谱检测法,示波极谱法等技术。

4.1. 分光光度法

分光光度测定甲醛的基本原理是利用甲醛与某些化学试剂的特色反应,生成的物质在特定的波长下有吸收峰,根据吸光度的大小,比色定量。其中乙酰丙酮法、变色酸法、催化光度法、盐酸苯肼法等是目前食品中甲醛检测常用的方法。杨雪娇等[32]先将香菇粉浸泡 4 h,再利用蛋白质自动测定仪的蒸馏装置进行蒸馏,采用乙酰丙酮的分光光度法来测定香菇中的甲醛含量,其回收率介于 87%~96%之间。

4.2. 色谱分析技术及其联用技术

色谱法测定甲醛主要有气相色谱法和高效液相色谱法两种。随着分析仪器和色谱技术的不断改进与发展,越来越多的研究采用 HPLC 对食用菌中的甲醛进行分离定量[33] [34]。孟繁磊[35]等利用此方法对黑木耳中的甲醛进行了测定,鲜干样品中加入本底值的 0.5, 1 和 2 倍甲醛平均回收率约为 87.6%和 93.25%,该方法检出限是 2 mg/kg。该方法准确度高,重现性、稳定性好,操作简单,适合甲醛含量的测定。

4.3. 催化动力学分光光度法

催化动力学分光光度法选择性好,灵敏度高,简便实用。近几年在测定甲醛的研究方面也取得了不少新进展。此方法检出限低,但反应速度受温度的影响较大,一般多用于在水发食品对甲醛的测定。

4.4. 电化学分析法

电化学分析法测甲醛是近几年兴起的一种分析方法。其原理是:化学反应过程中会产生电量(库伦法)、电流(伏安法)或电位(电位法)的变化,通过这种变化可以判断出反应体系中的分析物浓度进而进行定量分析。目前甲醛检测的方法有电位法和极谱法。

4.5. 甲醛残留的现状

目前食用菌中甲醛残留超标的现象比较严重,但却没有一种比较理想的快速检测方法,分光光度法常受浓硫酸或水浴等的操作条件限制,电化学法对样品的预处理条件要求较高,色谱法常受仪器条件限制,传感器法寿命短成本高,而现在的甲醛快速检测箱需专业人员操作,成本高,难以普及。所以建立一种快速、灵敏、简便、准确、经济、直观的甲醛检测方法十分必要。

5. 二氧化硫残留及其检测技术

二氧化硫在食品中的含量的检测方法传统有蒸馏滴定法和盐酸副玫瑰苯胺法[36] [37]。近几年新发现的检测方法有酶法、液相色谱法、化学发光法、荧光法、电化学法等,另外一些新的分离检测方法也迅速发展,例如毛细管电泳、离子色谱和各类传感器,气体扩散膜分离、流动注射等。目前,检测二氧化硫残留的主要技术包括,冷冻干燥保鲜技术、液体深层发酵技术、超细粉体技术、微胶囊技术、超临界流体存取技术等。

6. 其他方面的检测技术

转基因的成分检测技术。基因工程在食用菌方面的应用主要包括以下两方面[38]:一是将食用菌作为新基因工程的受体菌,生产人们期望的外源基因编码产品;二是定向地培育食用菌的新品种,包括抗病、抗虫、优质(富含必需氨基酸、蛋白质或能延长食用菌货架期等)的新品种,和用编码纤维素或木质素将解酶基因导入食用菌体内,以提高食用菌菌丝体对栽培基质的利用率或开拓新的栽培基质。转基因检测主要有三种:一是核酸检测方法,二是蛋白质水平上的检测,三是酶活性检测。陈文炳等[39]将食用菌转基因研究用的质粒载体(p301-b G1)DNA,添加到19种常见食用菌样品中,作为模拟阳性样品,从中提取出DNA用于PCR分析,建立了常见食用菌中3个大小分别为165、398、599 bp的外源基因(NOS、BAR、GUS)的特异性DNA片段的定性PCR检测方法,还进行了二重与三重PCR分析,并通过不同的模板DNA浓度对PCR扩增结果的影响,分析了PCR检测的灵敏度。

生物性污染及其检测技术。传统的微生物检测方法主要包括形态检测和生化方法,该方法的准确性和灵敏性都较高,但涉及的试验多、操作繁琐、耗工耗时。近年来,生物技术快速发展,检测效率与检验速度也都有效提高。在微生物的计数、早期诊断和鉴定等方面,现行的一些快速检测方法已经被应用,缩短了大量检测时间,从而提高了微生物检出率。这些快速检测方法主要包括核酸探针法、聚合酶链反应(PCR)法、免疫检测技术、快速测试片法、免疫磁球法、生物传感器和基因芯片技术等。

三聚氰胺的残留量检测技术。王登飞等[40]建立了食用菌三聚氰胺的固相萃取—高效液相色谱检测法。样品经乙腈和三氯乙酸提取、离心、固相萃取小柱净化,过0.45 μm滤膜,采用配有二极管阵列检测器(PAD)的液相色谱仪进行检测,同时采用外标法进行定量。以三聚氰胺的标准品测定添加回收率,结

果表明,该方法的最低检出限 2.0 mg/kg,回收率 81.3%~91.7%,相对标准偏差小于等于 5.6%。该方法满足食用菌三聚氰胺的残留量常规检测要求。

食用菌中杂质的检测。徐振驰等[41]为了使用机器视觉实现对食用菌中发丝等杂质的自动检测,提出基于显著性特征的菌菇中杂质图像分割算法,该算法结合了 Hessian 灰度特征和 Lab 空间色彩特征,通过图像归一化、求 Hessian 矩阵、反向投影、取阈值分割出杂质图像。实验结果表明,该算法在光照不均匀条件下的识别率仍达到 99.6%,可以用于工业化生产。

室内生长环境控制技术。岳仕达等[42]以 K60 单片机作为控制核心,利用 GY-30 数字光强度检测模块、AM 2301 型温湿度传感器、AJD-VCO₂ 数字 CO₂ 浓度检测模块对食用菌的室内环境情况进行检测,并将检测到的数据传送给上位机显示出来,同时,可以根据实际情况的需要对系统进行自动控制或手动操作。

7. 展望

对于食用菌有毒物质残留的问题已经有很多相关报道,特别是农药、甲醛、重金属等的残留问题,另外微生物污染问题也是层出不穷。我国是大宗食用菌的生产大国,为使食用菌产业更好更健康发展,就必须加强对食用菌产业质量安全科学技术的研究,尤其是为食用菌有机和无公害产品开发新的技术。另外,还必须构建食用菌的产品安全质量体系标准,努力提高其安全控制水平,保障产品质量与安全,从而为食用菌产业的发展带来美好的前景。

基金项目

山东省科技发展计划项目:毛木耳精深加工关键技术研究及产品开发:2017GNC13106;山东省现代农业产业技术体系食用菌产后加工岗位专家项目:SDAIT-07-08。

参考文献 (References)

- [1] 曾顺德,尹旭敏,高伦江,等. 食用菌物流保鲜研究进展[J]. 南方农业(园林花卉版), 2011, 50(4): 51-54.
- [2] 邹礼根,赵云,姜慧燕,等. 农产品加工副产物综合利用技术[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2013.
- [3] 沈文凤,王文亮,崔文甲,等. 食用菌调味料开发现状与发展趋势[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(10): 35-38.
- [4] 王贺祥,刘庆洪. 食用菌栽培学[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2014.
- [5] 李利,陈莎. 菇菌产品加工技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2015.
- [6] 王小红,钱骅,张卫明,等. 食用菌呈味物质研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2009, 28(1): 5-8.
- [7] 杨婷婷,赵春城,蔡建荣,等. 食用菌安全检测新技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 396-401.
- [8] 吴清平,吴军林,韦明肯. 食用菌深加工和质量安全技术研究进展[J]. 广东农业科学, 2004(6): 72-75.
- [9] 张友松,徐烽,杜少容. 杀菌剂噻菌灵在香菇上残留量测定[J]. 农药, 1996(5): 34.
- [10] 陈彦凤,张剑峰,肖白曼,等. 市售干制食用菌中农药残留调查分析[J]. 中国公共卫生管理, 2015(5): 630-631.
- [11] 冯晓青,汪怡,王芹,等. 凝胶渗透色谱-高效液相色谱法测定食用菌中呋喃丹农药残留[J]. 分析仪器, 2016(5): 6-9.
- [12] 李瑞雪,王钰婷,胡飞,等. 高效液相色谱法测定桑枝黑木耳中 DNJ 的含量[J]. 北方蚕业, 2015(4): 10-13.
- [13] 郭永泽,张玉婷,李娜,等. 农产品中多种农药残留的气相色谱-质谱联用法测定[J]. 分析测试学报, 2010, 12: 1186-1195.
- [14] 欧阳红军,何衍彪,林玲. 高效液相色谱法测定食用菌中 4 种农药的残留量[J]. 南方农业学报, 2015, 46(3): 437-440.
- [15] 张建莹,肖锋,叶刚,等. 超高效液相色谱-串联质谱法检测食用菌中荧光增白剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2014(9): 2682-2688.

- [16] 柳训才, 陈平, 沈菁, 等. 液相色谱-质谱法测定蘑菇中咪鲜安残留[J]. 分析科学学报, 2007, 5: 523-526.
- [17] 于胜良, 杨桂朋, 付萌. 凝胶渗透色谱净化-气相色谱/串联质谱分析蘑菇中的 36 种农药残留[J]. 色谱, 2007, 4: 581-585.
- [18] Tian, F.J., Liu, X.G., Xu, J., *et al.* (2016) Simultaneous Determination of Phoxim, Chlorpyrifos, and Pyridaben Residues Inedible Mushrooms by High-Performance Liquid Chromatography Coupled to Tandem Mass Spectrometry. *Food Analytical Methods*, **9**, 2917-2924. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0490-x>
- [19] 刘进玺, 秦珊珊, 冯书惠, 王会锋, 杨亚琴, 钟红舰. 高效液相色谱-串联质谱法测定食用菌中农药多残留的基质效应[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 171-177.
- [20] 吕萍萍, 徐晓曦. 农药残留对食品安全的影响及其检测新技术的研究进展[J]. 农学学报, 2012(6): 65-67.
- [21] Stijve, T. and Roschinc, R. (1974) Mercury and Methyl Mercury Contant of Different Species of Fungi. *Mitt Geb Lebensmittelunters Hyg*, **65**, 209-220.
- [22] 寇冬梅, 陈玉成, 张进忠. 食用菌富集重金属特征及污染评价[J]. 江苏农业科学, 2007(5): 229-232.
- [23] 胡桂仙, 王小骊, 董秀金, 等. 3 种干食用菌中汞、砷、铅、镉重金属的污染的检测与评估[J]. 浙江农业学报, 2011(2): 349-352.
- [24] Carcia, M.A., Alonso, J., Femandez, M.I., *et al.* (1998) Lead Content in Edible Wild Mushrooms in Northwest Spain as Indicator of Environmental Contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **34**, 330-335. <https://doi.org/10.1007/s002449900326>
- [25] 李萍, 吕任一, 肖丽恒, 等. 测汞仪原子吸收光谱法测定野生食用菌中的总汞[J]. 食品安全质量检测学报, 2015(1): 328-333.
- [26] 卢文芸, 陈昂, 李洪庆. 几种食用菌中重金属含量的测定与分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 32: 181-183.
- [27] 郑国旗, 王丽, 李婧. 云南保山市售野生菌铅砷汞污染状况分析[J]. 海峡预防医学杂志, 2014, 20(5): 58-59.
- [28] 陈美珠, 陈惠琴, 张声灿. 2010-2013 年龙岩市市售食品重金属污染状况分析[J]. 预防医学论坛, 2014, 20(12): 940-942.
- [29] 于灏, 汪发文. 电感耦合等离子体发射光谱法检测食用菌中金属元素含量方法的建立[J]. 生命科学仪器, 2014, Z1: 55-59.
- [30] 汪霖. 关于食用菌安全检测新技术的思考[J]. 科技与企业, 2016, 8: 197.
- [31] 林树钱, 王赛贞, 林志杉. 香菇生长发育和加工贮存中甲醛含量变化的初步研究[J]. 中国食用菌, 2002, 3: 26-28.
- [32] 杨雪娇, 黄伟, 林涛. 快速蒸馏——乙酰丙酮分光光度法测定香菇的甲醛[J]. 食品科技, 2006, 10: 240-242.
- [33] Mason, D.J., Sykes, M.D., Panton, S.W., *et al.* (2004) Determination of Naturally-Occurring Formaldehyde in Raw and Cooked Shiitske Mushrooms by Spectrophotometry and Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. *Food Additives and Contaminants*, **21**, 1071-1082. <https://doi.org/10.1080/02652030400013326>
- [34] Liu, J., Peng, J., Chi, Y., *et al.* (2005) Determination of Formaldehyde in Shiitake Mushroom by Ionic Liquid-Based Liquid-Phase Micro-Extraction Coupled with Liquid Chromatography. *Talanta*, **65**, 705-709.
- [35] 孟繁磊, 牛红红, 宋志峰, 等. 高效液相色谱法测定黑木耳中甲醛含量[J]. 食品工业, 2017, 38(6): 311-313.
- [36] 李波, 王东玲, 苗洪雨, 等. 食用菌中 SO₂ 残留的分析调查及检测方法的研究[J]. 广东微量元素科学, 2007, 14(7): 44-48.
- [37] 董亚茹, 董满莉, 万娟, 等. 超声提取-EDTA-2Na 吸收-盐酸副玫瑰苯胺法测定食用菌中的二氧化硫[J]. 食品科技, 2015, 40(3): 319-323.
- [38] 王东. 食用菌常见的污染及质量安全检测技术[J]. 河南农业, 2012(13): 26-27.
- [39] 陈文炳, 江树勋, 邵碧英, 等. 常见食用菌中转基因成分定性 PCR 检测方法的建立[J]. 食品科学, 2004, 10: 206-210.
- [40] 王登飞, 黄智辉, 郑俊超, 等. 固相萃取-高效液相色谱检测法测定食用菌中三聚氰胺残留量[J]. 食品科学, 2010, 6: 235-238.
- [41] 徐振驰, 纪磊, 刘晓荣, 周晓佳. 基于显著性特征的食用菌中杂质检测[J]. 计算机科学, 2015, S2: 203-205 + 217.
- [42] 岳仕达, 朱凤武, 闫东旭, 等. 基于 K60 的食用菌室内生长环境控制系统的研究[J]. 农业与技术, 2015, 7: 212-214.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5507，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjas@hanspub.org