

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241017006

引用格式: 胡筱, 张泸文, 迟秋池, 等. 豆芽中多种药物残留的同时测定方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(3): 139–146.

HU X, ZHANG LW, CHI QC, *et al.* Research progress on simultaneous determination of multiple drug residues in bean sprouts [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(3): 139–146. (in Chinese with English abstract).

豆芽中多种药物残留的同时测定方法研究进展

胡 筱, 张泸文, 迟秋池, 童仁平, 陈 燕*

(上海市食品药品检验研究院, 上海 201203)

摘 要: 近年来, 在豆芽中非法滥用药物的安全性问题日益突出, 因此对豆芽中多种非法滥用药物的有效检测对保障消费者的健康具有十分重要的意义。基于此, 本文介绍了豆芽中植物生长调节剂、抗生素、杀菌剂等常见违禁添加药物类别、作用与危害, 概述了其监管现状、标准检测方法及风险监测评估情况。同时本文总结分析了不同前处理净化方式在各类违禁添加药物测定中的应用情况及优缺点, 并针对豆芽中检出率较高的几种主要潜在危害物, 对现有的检测方法展开重点论述及优缺点评价。最后, 对目前豆芽中同时测定多种药物残留研究进展进行总结并提出展望, 以期开展豆芽中各类添加药物的高通量筛查、相关标准的建立提供参考, 为科学合理控制豆芽的质量提供技术支持。

关键词: 豆芽; 药物残留; 同时测定; 净化方式

Research progress on simultaneous determination of multiple drug residues in bean sprouts

HU Xiao, ZHANG Lu-Wen, CHI Qiu-Chi, TONG Ren-Ping, CHEN Yan*

(Shanghai Institute for Food and Drug Control, Shanghai 201203, China)

ABSTRACT: In recent years, the safety concerns arising from the illegal use of drugs in bean sprouts have become increasingly prominent. Therefore, the effective detection of various illicitly used drugs in bean sprouts is crucial to ensuring consumer health. This review introduced the categories, functions, and hazards of common prohibited additives in bean sprouts, including plant growth regulators, antibiotics, and fungicides. It provided an overview of the current situation of supervision, standard detection methods, and risk assessment. At the same time, the review analyzed the application, advantages, and disadvantages of different pretreatment and purification methods applied in the determination of various prohibited additives. Furthermore, in view of several potential hazardous substances with high detection rates in bean sprouts, the existing detection methods were expounded and evaluated with the advantages and disadvantages. Finally, this article summarized the research progress on simultaneous multi-drug residue detection in bean sprouts, and proposed future directions. The aim is to provide a reference for high-throughput screening of various additives in bean sprouts, establish relevant standards, and offer technical

收稿日期: 2024-10-17

基金项目: 上海市市场监督管理局 2023 年度科技项目(2023-69)

第一作者: 胡筱(1996—), 女, 博士, 中级工程师, 主要研究方向为食品安全质量检测。E-mail: huxiaosifdc@163.com

*通信作者: 陈燕(1978—), 女, 硕士, 副主任药师, 主要研究方向为食品安全质量研究。E-mail: chenyan@yjj.shanghai.gov.cn

support for the scientific and rational quality control of bean sprouts.

KEY WORDS: bean sprouts; drug residues; simultaneous determination; purification methods

0 引言

近几年,毒豆芽、问题豆芽等食品安全事件被多次爆出,即不法商贩受利益驱使在豆芽生产过程中非法添加植物生长调节剂(plant growth regulators, PGRs)、抗生素、杀菌剂、塑化剂、尿素、漂白剂等药物,从而缩短生长周期、提高外观品相并延长保鲜寿命。PGRs 用于豆芽快速生长,如“AB”粉(主要成分为 6-苄基腺嘌呤和赤霉素)、“无根豆芽素”(含 4-氯苯氧乙酸)、2,4-二氯苯氧乙酸、吲哚乙酸等均在豆芽生产过程中有非法添加^[1]。抗生素类药物可用于杀菌消毒,防止豆芽根部腐烂,常用抗生素分为喹诺酮类、四环素类、磺胺类、硝基咪唑类等,其中恩诺沙星、环丙沙星、甲硝唑等检出率较高。杀菌剂通常用于豆芽生产用水的消毒、杀菌、防腐,“毒豆芽”事件中常用杀菌剂为多菌灵、福美双等^[2]。研究表明,上述药物长期摄入会对人体健康造成严重危害,如致使老年人骨质疏松、儿童发育早熟、女性生理发生改变等;抗生素类药物可能诱发致癌、致畸等疾病,还会使人体内菌群对其产生耐药性^[3-5]。

结合豆芽中非法滥用药物的监管与检测现状,发现当前的检测研究方法集中于质谱联用手段,且开展准确高效的多种药物同时检测研究已成发展趋势但仍具较大挑战。本文分析总结了近年来国内外豆芽中多种药物同时检测研究中的前处理净化方式及检测方法,对豆芽中各类添加药物的高通量筛查、相关标准的建立均具有重要意义。

1 监管与检测现状

随着近年来“毒豆芽”事件的曝光,食品安全监管部门针对豆芽质量安全的关注度与监管力度有效提升^[6]。2015

年,原国家食药总局、农业部、国家卫计委发布第 11 号公告,规定生产者不得在豆芽生产过程中使用 6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸钠、赤霉素等物质;2020 年起,豆芽中 3 种喹诺酮类抗生素被纳入国家食品安全风险监测计划。2020 年宋晓婉等^[7]在安徽省部分地区 50 家超市及农贸市场共采集 228 组豆芽样品,对 11 种常见 PGRs 进行了风险监测评估,样品中 4-氯苯氧乙酸检出率最高,不合格率高达 23.25%。2022 年金琦琦等^[8]在 2019—2021 年上海市售蔬菜质量安全分析及监管建议中指出芽苗菜蔬菜类豆芽的抽检力度逐年增加,且不合格率从 5.00%降至 2.86%。

目前,由于各类化合物极性差异较大且部分潜在危害物分布较为分散,针对豆芽中多类药物残留的同时检测尚无相应的国家标准检测方法。BJS 201703《豆芽中植物生长调节剂的测定》可同时测定豆芽中 11 种 PGRs; BJS 202310《豆芽、豆制品、火锅及麻辣烫底料中喹诺酮类、磺胺类、硝基咪唑类、四环素类化合物的测定》可同时测定上述食品中 42 种抗生素类化合物; T/ZACA 021—2020《豆芽中氟喹诺酮类和硝基咪唑类药物残留量的测定液相色谱-串联质谱法》可同时测定 12 种抗生素。上述标准仅针对同一类别的多组分药物检测,而在较多文献研究中,已实现豆芽中多种、多类别药物残留的同时测定^[9-10]。

2 前处理净化方式

前处理中的净化作用主要用于消除干扰仪器测定的豆芽基质成分,如磷脂类干扰物、蛋白质、色素等。本文总结了不净化法、固相萃取法、固相微萃取法、分散固相萃取法、在线固相萃取法、中空纤维三相液相微萃取法等不同净化方式的应用情况及优缺点(见表 1)。

表 1 不同净化方式的应用情况及优缺点
Table 1 Application situation, advantages and disadvantages of different purification methods

净化方式	应用类别	优点	缺点	参考文献
不净化法	PGRs; 抗生素	前处理简单; 适用于多种药物快速筛查	不适用于干扰较大的豆芽基质	[11-12]
固相萃取法	PGRs; 抗生素	试剂用量少; 环境污染少; 无乳化; 操作简单	成本较高; 需柱活化预处理等步骤	[13-14]
固相微萃取法	杀菌剂	集萃取、解析、进样于一体; 几乎无二次污染	吸附容量有限; 重复性差	[15]
分散固相萃取法	PGRs; 抗生素; 杀菌剂	覆盖范围广; 操作简单、快捷; 灵敏度高	不适用于含水量低或者脂肪含量高的样品	[16-17]
在线固相萃取法	PGRs; 喹诺酮类抗生素; 杀菌剂	简单前处理后即可直接进样	灵敏度相对较低	[18-19]
中空纤维三相液相微萃取法	吲哚有机酸类植物生长素	有机溶剂消耗少; 净化能力强; 分析效率高	成本高; 适用范围较为局限	[20]

2.1 固相萃取法

固相萃取技术是利用杂质或目标化合物与样品溶剂和吸附剂间亲和力的相对大小不同而达到分离目的,依据净化机制可分为保留式固相萃取法与通过式固相萃取法。前者通常参考 BJS 201909《豆制品、火锅、麻辣烫等食品中喹诺酮类化合物的测定》采用 0.1 mol/L 乙二胺四乙酸-McIlvaine 缓冲溶液提取后进行净化,而通过式则参考 BJS 201703《豆芽中植物生长调节剂的测定》采用 1%甲酸乙腈作为提取液。常用的固相萃取柱包括 MCS 混合阳离子交换柱^[13,21]、HLB 固相萃取柱^[14,22]及通过式 PRiME HLB 固相萃取柱^[23-24]等,目前 PRiME HLB 固相萃取柱在文献研究中应用较多。同时,新型固相萃取吸附材料的开发与应用也为豆芽中多种药物检测的前处理手段提供了发展方向。例如 CAO 等^[25]制备并选取疏基功能化聚丙烯腈纳米纤维垫作为新型固相萃取吸附剂,实现了绿豆芽、黄豆芽等蔬菜样本中 4 种 PGRs 的有效测定。

2.2 固相微萃取法

除此之外,固相微萃取技术在豆芽多种药物残留测定中也有所应用。SHI 等^[15]采用稳定的生物相容性电纺纳米纤维(聚苯乙烯/石墨烯@二氧化硅, PS/G@SiO₂)作为固相微萃取涂层,将固相微萃取纤维直接插入绿豆芽茎中,进行原位体内采样和提取,用于定量检测两种新的杀菌剂残留物在绿豆芽中的含量,该方法具有良好的精密度和抗基质干扰能力。

2.3 分散固相萃取法

分散固相萃取(又称 QuEChERS)对于豆芽中多类别药物残留的同时测定是较为重要的前处理净化方法。在各类吸附材料的选择中^[16-17,26],十八烷基键合硅胶(octadecyl silane, C₁₈)可用于去除基质中的脂肪和色素;N-丙基乙二胺(primary secondary amine, PSA)可有效去除基质中的脂肪酸和有机酸,但使用 PSA 净化时可能会对四环素类和大部分 PGRs 如吡唑乙酸、矮壮素等有吸附作用^[27-31];石墨化炭黑(graphitizing of carbon black, GCB)可有效去除基质中的部分色素、固醇等极性大的物质干扰,但对平面化合物具有很强的亲和力,可能导致部分抗生素及含有平面芳香环结构的农药分子回收率降低,如多菌灵等^[32-33];键合氨基丙基(NH₂)可能会引入新的干扰峰而不适用于含磺胺类药物的净化。由于豆芽中色素干扰不明显,豆芽中多种药物残留的测定研究中通常选择 C₁₈ 吸附剂作为分散固相萃取法主要净化材料^[34-35]。

2.4 在线固相萃取法

目前在线固相萃取技术已被多次运用于豆芽中药物残留及禁用添加剂的检测。黄雷芳等^[19]基于 Turboflow 在线净化技术建立了同时测定豆芽中 11 种有机酸类 PGRs

残留量的方法,显著提高了分析效率和稳定性;朱群英等^[18]利用双三元液相系统的程序控制流路切换功能,通过优化富集净化泵流动相、阀切时间等条件,用于豆芽中 6 种 PGRs、3 种杀菌剂和 2 种喹诺酮类药物残留的在线固相萃取,为豆芽安全风险监测中多种药物测定提供可靠的方法。

2.5 中空纤维三相液相微萃取法

中空纤维液相微萃取技术集采样、萃取和浓缩于一体,兼具富集倍数高、有机溶剂消耗少、样品净化能力强、环境友好等优点,已被广泛应用于食品检测领域^[36]。陈露等^[20]通过正交试验,优化了中空纤维萃取绿豆芽中吡唑类植物生长素的最优条件,使用少量有机溶剂有效去除了基质中复杂干扰组分,用于绿豆芽中吡唑类植物生长素的快速痕量测定。

3 检测方法

豆芽中多种药物残留的同时检测方法主要包括气相色谱-质谱法(gas chromatography mass spectrometry, GC-MS)、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)、液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)等,另外二维液相色谱法、毛细管电泳法、表面增强拉曼光谱法、离子色谱法、荧光光谱法等在该领域也有少量应用。本文总结了目前豆芽中检出率较高的几种主要潜在危害物,并对现有的各检测方法展开分析及优缺点评价(表 2)。除 6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸、赤霉素明确指出在豆芽中禁止使用外,其余 PGRs 及杀菌剂在 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》中均有限量规定,但未对豆芽制定限量要求;甲硝唑、恩诺沙星、环丙沙星、诺氟沙星等抗生素在兽药注册使用范围内不包含豆芽,为禁止使用;GB 22556—2008《豆芽卫生标准》中规定豆芽中亚硫酸盐(以 SO₂ 计)限量为 0.02 g/kg。

3.1 气相色谱-质谱法

GC-MS 可有效分离和定量分析挥发性有机物,已广泛应用于豆芽中农药、PGRs 和化学污染物残留的检测。宋利军等^[38]针对豆芽生产过程中可能使用的几种常见 PGRs,根据其化学性质进行分级净化,GC-MS 进行测定;张文华等^[37]建立了气相色谱-串联质谱(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)一次进样可同时测定豆芽和番茄中 4-氯苯氧乙酸等 6 种 PGRs 残留的分析方法,相比分级净化缩短了前处理时间,提高了检测效率和稳定性;程盛华等^[61]以 Carb/NH₂ 固相萃取小柱净化,采用在线凝胶渗透色谱进一步分离,GC-MS 法测定豆芽中 53 种农药残留,并随后进行豆芽中邻苯二甲酸二丁酯等 16 种塑化剂的测定^[39]。

表 2 各检测方法对主要潜在危害物的监测情况及优缺点
Table 2 Monitoring situation, advantages and disadvantages of the detection methods for main potential hazards

检测方法	主要潜在危害物监测情况				优点	缺点
	PGRs	抗生素	杀菌剂	其他		
GC-MS	4-氯苯氧乙酸、吲哚乙酸、吲哚丁酸、萘乙酸、2,4-二氯苯氧乙酸等 ^[37-38]	/	/	邻苯二甲酸酯类塑化剂 ^[39]	操作简便、灵敏、快速	需衍生化处理
HPLC	6-苄基腺嘌呤、2,4-二氯苯氧乙酸、赤霉素、吲哚乙酸、4-甲硝唑、诺氟沙星、氯苯氧乙酸、4-氟苯氧乙酸、环丙沙星等 ^[18] 、异戊烯腺嘌呤、噻苯隆等 ^[40-41]	多菌灵、福美双、百菌清等 ^[42]	多菌灵 ^[26]	尿素 ^[43-44]	前处理简单，灵敏度高，成本低	基质干扰影响较大，易造成假阳性干扰
LC-MS/MS	吲哚乙酸、吲哚丁酸、2,4-二氯苯氧乙酸、4-氟苯氧乙酸、4-氯苯氧乙酸、6-苄基腺嘌呤、赤霉素、噻苯隆、激动素、多效唑、矮壮素等 ^[45]	甲硝唑、恩诺沙星、诺氟沙星、环丙沙星、强力霉素、磺胺嘧啶等 ^[46]	多菌灵 ^[26]	/	检测准确度、灵敏度高	设备昂贵，检测成本高
二维液相色谱法	赤霉素、6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸、2,4-二氯苯氧乙酸等 ^[47]	/	/	/	选择性强，分离能力强	检测通量较低
荧光光谱法	吲哚乙酸、吲哚丙酸、吲哚丁酸等 ^[48]	/	/	/	专属性强	荧光猝灭问题
毛细管电泳法	吲哚乙酸、吲哚丁酸、6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸等 ^[49]	/	/	/	分离效率高，耗时长、有机溶剂用量少、环境友好	重现性差
GC	乙烯利 ^[50] 、2,4-二氯苯氧乙酸 ^[51] 等	/	百菌清 ^[52]	/	操作简便、成本低	需衍生化处理
离子色谱法	4-氯苯氧乙酸 ^[53]	/	/	连二亚硫酸钠 ^[54] 、亚硝酸盐 ^[55]	快速、灵敏、选择性好	检测化合物受限
电化学传感器	4-氯苯氧乙酸 ^[56] 等	/	/	/	检测速度快	寿命较短
生物传感器	6-苄基腺嘌呤 ^[57]	/	/	/	专一性强，成本低	生物固化膜不稳定
酶联免疫法	6-苄基腺嘌呤 ^[58]	/	/	/	操作简单、专一性强，可进行定性和定量测定	易出现假阳性或假阴性，准确性较差
比色分析法	2,4-二氯苯氧乙酸 ^[59] 等	/	/	/	简单直观	目视比色误差较大
拉曼光谱法	6-苄基腺嘌呤 ^[60]	/	/	/	样品无需前处理	易受到光污染

注: /代表文献中暂未关注相应潜在危害物。

3.2 高效液相色谱法

HPLC 测定豆芽中多种药物残留中常用的检测器为紫外检测器(ultraviolet absorption detector, UV)^[62]、二极管阵列检测器(diode array detector, DAD)^[40-42,63]及荧光检测器(fluorescence detector, FLD)^[64-65]等。与液相色谱-质谱法相比, HPLC 对仪器设备的要求较低, 操作简单, 适合于较低检测成本下分析豆芽中药物残留量。陈君等^[42]建立了一种豆芽样品中甲硝唑、多菌灵、赤霉素、6-苄基腺嘌呤和 2,4-二氯苯氧乙酸同时检测的 HPLC-DAD 方法, 并对市场上豆芽样品进行抽样分析, 其中多菌灵、2,4-二氯苯氧乙酸等检出率较高; 刘赐敏等^[43]等以咕吨氢醇为衍生剂, HPLC-FLD 测定豆芽中尿素含量; WANG 等^[62]以离子对搅

拌棒吸附萃取法为提取手段, 并结合高 HPLC-UV 同时测定绿豆芽、黄瓜等蔬菜中水杨酸、吲哚-3-乙酸和脱落酸三种酸性植物激素。

3.3 液相色谱-串联质谱法

目前豆芽中多组分、多类别药物的同时快速测定以 LC-MS/MS 为主, 其中液相色谱-串联三重四极杆质谱仪定量能力较强^[66-68], 以四极杆-飞行时间质谱^[69]和四极杆/静电场轨道阱^[70]为代表的高分辨质谱, 可进行大批量非靶向快速筛查与定量分析。孙晓冬等^[46]利用 QuEChERS 净化手段, 结合超高效液相色谱-串联四极杆质谱仪, 研究建立豆芽中 51 种抗生素类药物的快速筛查方法; 马凯等^[45]通过优化分散固相萃取前处理方法, 并结合超高效液相色谱-

串联质谱法 (ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS) 实现了豆芽中 PGRs 类、抗生素类、杀菌剂类共 96 种药物残留的同时测定; 并以此为基础, 完成超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱法对豆芽中 9 种药物残留的非靶向筛查与定量分析方法的建立^[70]。

3.4 其 他

除上述主要检测手段之外, 二维液相色谱法^[71]、荧光光谱法^[48]、毛细管电泳法^[49,72-73]也被少量应用于豆芽中多种药物残留的同时检测中。高宗林等^[47]基于二维液相色谱, 针对绿豆芽中的干扰物质, 建立了样品中 6-苄基腺嘌呤、赤霉素、4-氯苯氧乙酸和 2,4-二氯苯氧乙酸 4 种 PGRs 的分析方法; YIGAIMU 等^[48]建立了一种快速简便的测定绿豆芽中吲哚-3-乙酸、吲哚-3-丙酸和吲哚-3-丁酸总生长素含量的荧光光谱法; 白新伟等^[49]使用 3-氨基苯磺酸作为衍生化试剂, 建立了一种用于测定豆芽中 PGRs 残留的毛细管电泳分析方法。上述检测方法在近年来文献研究中报道相对较少, 且关注的潜在危害物相对集中在 PGRs 这一类别, 局限性较大。除此之外, 针对豆芽中禁止添加的 6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸、吲哚乙酸等植物生长素的检测方法还包括气相色谱法^[51]、离子色谱法^[53]、电化学传感器法^[56]、生物传感器法^[57]、酶联免疫法^[58]、比色分析法^[59]、拉曼光谱法^[60]等, 但目前报道仅针对某单一化合物进行检测, 无法满足多种药物同时测定的需求。

4 结 束 语

为满足监管需求, 发展检测类别多、覆盖面广、可实现大批量样品中多组分药物同时快速测定的方法, 是目前该领域重要的研究方向。前处理方面, QuEChERS 法步骤简化、抗干扰能力强且回收率高, 是目前豆芽基质中多组分药物同时测定的主流净化方式。在线固相萃取技术在简化前处理步骤的同时可减少样品的污染及可能发生的分析物降解, 未来发展中或许能够成为豆芽中多药物残留分离分析的另一重要手段。各检测方法各有利弊, 在实际检测中应结合实际需求取长补短、相互融合, 如 GC-MS、HPLC、UPLC-MS/MS 等传统仪器方法检出限低、准确度高且重复性好, 在豆芽中多种药物残留同时检测中得到了广泛应用, 目标化合物覆盖范围更广, 可用于实验室进一步确证检测; 尤其是以四极杆-飞行时间质谱和四极杆/静电场轨道阱为代表的高分辨质谱, 可进行大批量豆芽样品中多种药物非靶向快速筛查、风险监测与定量分析, 是今后豆芽食品安全监管的一大重要技术保障; 酶联免疫分析、生物传感器和拉曼光谱法等选择性强、灵敏度高且操作简便, 可用于便携式检测装备的开发, 适用于大批量豆芽样品中 6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸等禁用组分的现场

快速筛查, 但在多组分药物同时检测中仍具较大发展空间。另外, 目前豆芽相关文献中目标化合物集中于 PGRs、抗生素及杀菌剂这几类, 对于塑化剂、尿素、连二亚硫酸钠、亚硝酸盐等潜在危害物的检测研究甚少, 且难以做到同时检测, 是未来亟需解决的研究难点。针对豆芽中主要潜在危害物, 若能同时建立通用的前处理方法及快速筛查手段, 对保障食品安全、推动豆芽中多种药物残留限量及标准检测方法的建立均具有重大意义。

参考文献

- [1] 孟继秋, 曹金博, 孙亚宁, 等. 豆芽中生长调节剂类违禁添加物的检测方法研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 224-228.
MENG JQ, CAO JB, SUN YN, *et al.* Advances in the detection method of prohibited plant growth regulators in bean sprouts [J]. Food & Machinery, 2020, 36(2): 224-228.
- [2] 鲍蓉, 李鑫, 林坚, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定豆芽中 58 种抗生素的含量[J]. 理化检验(化学分册), 2024, 60: 1-11.
BAO R, LI X, LIN J, *et al.* Simultaneous determination of 58 antibiotics in bean sprouts by ultra-high performance liquid chromatography-tandem triple quadrupole mass spectrometry with QuEChERS [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2024, 60: 1-11.
- [3] 刘念. 喹诺酮类抗菌药的临床应用效果及其临床合理应用与不良反应研究[J]. 当代医学, 2022, 28(16): 172-175.
LIU N. Clinical application effect, clinical rational use and adverse reaction study of quinolone antibiotics [J]. Contemporary Medicine, 2022, 28(16): 172-175.
- [4] 罗宝章, 秦璐昕, 蔡华, 等. 上海市 2016—2020 年肉与肉制品中多种抗生素残留及风险[J]. 上海预防医学, 2021, 33(5): 377-385.
LUO BZ, QIN LX, CAI H, *et al.* Health risk assessment of multiple antibiotic residues in meat and meat products in Shanghai from 2016 to 2020 [J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2021, 33(5): 377-385.
- [5] 何瑞, 刘艾平, 曹玉广. 植物生长调节剂使用中的安全问题[J]. 中国卫生监督杂志, 2003, 10(2): 99-101.
HE R, LIU AIP, CAO YG. Safety issues in the use of plant growth regulators [J]. Chinese Journal of Health Inspection, 2003, 10(2): 99-101.
- [6] 曾雪芳, 齐春艳, 谢爱华, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法筛查芽苗类蔬菜中 90 种植物生长调节剂和抗生素[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(6): 119-130.
ZENG XF, QI CY, XIE AIH, *et al.* Screening of plant growth regulators and antibiotics in sprout vegetables by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(6): 119-130.
- [7] 宋晓婉, 宋旭凤, 姚凯. 豆芽中植物生长调节剂的残留及风险监测评估[J]. 现代农业科技, 2020, 49(6): 229-230.
SONG XW, SONG XF, YAO K. Residue and risk assessment of plant growth regulators in bean sprouts [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020, 49(6): 229-230.
- [8] 金琦琦, 陈磊, 周静, 等. 2019—2021 年上海市售蔬菜质量安全分析及监管建议[J]. 食品与机械, 2022, 38(12): 60-64.
JIN QQ, CHEN L, ZHOU J, *et al.* Quality and safety analysis and supervisory suggestion of sampling inspection of vegetables sold in Shanghai from 2019 to 2021 [J]. Food & Machinery, 2022, 38(12): 60-64.
- [9] 刘思洁, 方赤光, 崔勇, 等. 植物生长调节剂在植物源性食品中残留量检测技术的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(1): 8-13.
LIU SJ, FANG CG, CUI Y, *et al.* Advances in detection technologies of

- plant growth regulator residue in plant foods [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2016, 7(1): 8–13.
- [10] 于以竹, 李平. 豆芽中药物残留检测方法研究进展[J]. *食品安全导刊*, 2023, 17(9): 145–148.
- YU YZ, LI P. Research progress of detection methods of drug residues in bean sprout [J]. *China Food Safety Magazine*, 2023, 17(9): 145–148.
- [11] 颜伟华, 周莹, 郭浩伟, 等. UPLC-MS/MS 快速筛查豆芽中 27 种植物生长调节剂和抗生素类药物[J]. *食品科学*, 2021, 42(12): 302–308.
- YAN WH, ZHOU Y, GUO HW, *et al.* Rapid screening of 27 plant growth regulator and antibiotic residues in bean sprouts by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Science*, 2021, 42(12): 302–308.
- [12] 张晓艺, 郑三燕, 张秀尧, 等. 豆芽中抗生素的超高效液相色谱-三重四级杆质谱联用-内标法测定[J]. *上海预防医学*, 2024, 36: 1–14.
- ZHANG XY, ZHENG SY, ZHANG XY, *et al.* Rapid determination of 59 antibiotics in bean sprouts by UPLC-MS/MS-internal standard method [J]. *Shanghai Journal of Preventive Medicine*, 2024, 36: 1–14.
- [13] CAI CG, YAO F, LI CP, *et al.* Determination of ten plant growth regulators in bean sprouts by mixed solid phase extraction columns separation and LC-MS/MS [J]. *Processes*, 2023, 11(9): 2586.
- [14] 吴少明. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定豆芽中 18 种抗菌剂的含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(23): 9027–9034.
- WU SM. Simultaneous determination of 18 kinds of antibacterial agents in bean sprouts by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(23): 9027–9034.
- [15] SHI Z, CHEN D, CHEN TT, *et al.* *In vivo* analysis of two new fungicides in mung bean sprouts by solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2019, 275: 688–695.
- [16] 张沪文, 焦广睿, 王柯, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法同时测定果蔬中 26 种植物生长调节剂残留[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(7): 2677–2689.
- ZHANG LW, JIAO GR, WANG K, *et al.* Simultaneous determination of 26 kinds of plant growth regulator residues in fruits and vegetable by QuEChERS-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2016, 7(7): 2677–2689.
- [17] 钱卓真, 汤水粉, 梁焱, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法同时测定水产养殖环境沉积物中磺胺类、喹诺酮类、大环内酯类抗生素[J]. *质谱学报*, 2019, 40(4): 356–368.
- QIAN ZZ, TANG SF, LIANG Y, *et al.* Simultaneous determination of sulfonamides, quinolones and macrolides antibiotics residues in sediment from aquaculture environment by QuEChERS-HPLC-MS/MS [J]. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, 2019, 40(4): 356–368.
- [18] 朱群英, 朱玉玲, 索莉莉, 等. 在线固相萃取-高效液相色谱法同时测定豆芽中 11 种植物生长剂和杀菌剂[J]. *分析科学学报*, 2018, 34(4): 507–512.
- ZHU QY, ZHU YL, SUO LL, *et al.* Simultaneous determination of eleven plant growth regulators and fungicides in bean sprouts by online solid phase extraction-high performance liquid chromatography [J]. *Journal of Analytical Science*, 2018, 34(4): 507–512.
- [19] 黄雷芳, 朱加进, 黄超群. Turboflow 在线净化-液相色谱-串联质谱法测定豆芽中 11 种植物生长调节剂[J]. *现代食品*, 2017, 3(13): 115–121.
- HUANG LF, ZHU JJ, HUANG CQ. Determination of 11 plant growth regulators in bean sprouts by Turboflow online purification-liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Modern Food*, 2017, 3(13): 115–121.
- [20] 陈露, 吐尔洪·买买提, 木尼热·阿布都艾尼, 等. 中空纤维三相液相微萃取荧光光度法测定绿豆芽中的吡啶类植物生长素[J]. *分析测试学报*, 2016, 35(2): 229–234.
- CHEN L, TUERHONG MMT, MUNIRE ABDAIN, *et al.* Spectrofluorimetric determination of indole phytohormones in bean sprout using three phase hollow fiber-liquid phase microextraction [J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2016, 35(2): 229–234.
- [21] QIN GF, ZOU KT, TIAN L, *et al.* Determination of five plant growth regulator containing carboxyl in bean sprouts based on chemical derivatization by GC-MS [J]. *Food Analytical Methods*, 2018, 11(9): 2628–2635.
- [22] 韦航, 邹强, 李军法, 等. 液相色谱-串联质谱测定豆芽中 4 种四环素类药物残留量研究[J]. *广州化工*, 2019, 47(17): 122–124.
- WEI H, ZOU Q, LI JF, *et al.* Determination of four tetracycline antibiotics in bean sprouts by HPLC-MS/MS [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2019, 47(17): 122–124.
- [23] 黄燕红, 蒋湘, 盘正华, 等. 豆芽中 30 种植物生长调节剂和喹诺酮类药物残留的快速筛查[J]. *食品工业科技*, 2021, 42: 287–295.
- HUANG YH, JIANG X, PAN ZH, *et al.* Rapid screening of 30 plant growth regulators and quinolone antibiotics in bean sprout samples [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42: 287–295.
- [24] DENG H, FENG Y, WU G, *et al.* Detection and degradation characterization of 16 quinolones in soybean sprouts by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Foods*, 2022, 11(16): 2500.
- [25] CAO J, LI R, LIANG S, *et al.* Simultaneous extraction of four plant growth regulators residues in vegetable samples using solid phase extraction based on thiol-functionalized nanofibers mat [J]. *Food Chemistry*, 2020, 310: 125859.
- [26] 冯军军, 姜海云, 王静, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法同时测定豆芽中 40 种植物生长调节剂、杀菌剂、杀虫剂和抗生素类药物残留[J]. *色谱*, 2022, 40(9): 843–853.
- FENG JJ, JIANG HY, WANG J, *et al.* Simultaneous determination of 40 plant growth regulators, fungicides, insecticides, and antibiotics in bean sprouts by QuEChERS-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2022, 40(9): 843–853.
- [27] 刘运明, 刘华良, 吉文亮, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法同时测定豆芽中 7 种植物生长调节剂的残留量[J]. *中国卫生检验杂志*, 2015, 25(12): 1880–1883.
- LIU YM, LIU HL, JI WL, *et al.* Simultaneous determination of 7 plant growth regulators residues in bean sprout by QuEChERS-HPLC-MS/MS [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory*, 2015, 25(12): 1880–1883.
- [28] 郝杰, 姜洁, 毛婷, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定蔬果中 34 种植物生长调节剂的残留量[J]. *食品科学*, 2018, 39(8): 267–275.
- HAO J, JIANG J, MAO T, *et al.* Determination of 34 plant growth regulator residues in vegetables and fruits by QuEChERS-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Science*, 2018, 39(8): 267–275.
- [29] 莫迎, 吕敏, 张荣林, 等. 改良 QuEChERS 结合超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱法测定果蔬中 15 种植物生长调节剂残留[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(2): 195–200.
- MO Y, LV M, ZHANG RL, *et al.* Determination of 15 plant growth regulators residues in fruits and vegetables by modified QuEChERS coupled with UPLC-Q-Orbitrap HRMS [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(2): 195–200.
- [30] 林守二, 郑仁锦, 华永有, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法快速测定豆芽中 12 种植物生长调节剂的含量[J]. *理化检验(化学分册)*, 2021, 57(8): 703–708.
- LIN SER, ZHEN RJ, HUA YY, *et al.* Rapid determination of 12 plant

- growth regulators in bean sprouts by ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis)*, 2021, 57(8): 703–708.
- [31] 李文博, 童颖. DSPE-HPLC-MS/MS 法同时测定豆芽中 11 种植物生长调节剂和抗生素药物残留[J]. *食品与发酵科技*, 2022, 58(4): 123–131.
- LI WB, TONG Y. Simultaneous determination of 11 plant growth regulators and antibiotic residues in bean sprouts by DSPE-HPLC-MS/MS [J]. *Food and Fermentation Science & Technology*, 2022, 58(4): 123–131.
- [32] 花锦, 张小燕, 杜利君. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定油料和植物油中 77 种农药残留量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(5): 1691–1697.
- HUA J, ZHANG XY, DU LJ. Simultaneous determination of 77 pesticides in oil plants and plant oil by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with QuEChERS [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2015, 6(5): 1691–1697.
- [33] 张亚莲, 柳茜, 王岁楼, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定豆芽中 8 种药物残留[J]. *分析测试学报*, 2015, 34(2): 164–170.
- ZHANG YL, LIU H, WANG SL, *et al.* Simultaneous determination of eight kinds of drug residues in sprouts by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2015, 34(2): 164–170.
- [34] 刘平, 范赛, 吴国华, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定豆芽中 6 种植物生长调节剂[J]. *卫生研究*, 2016, 45(3): 483–489.
- LIU P, FAN S, WU GH, *et al.* Determination of 6 kinds of plant growth regulator in bean sprout by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2016, 45(3): 483–489.
- [35] 古丽君, 蓝康华, 李磊, 等. 液质联用法测定蔬果中 12 种植物生长调节剂[J]. *中国卫生检验杂志*, 2017, 27(24): 3514–3518.
- GU LJ, LAN KH, LI L, *et al.* Determination of plant growth regulator residues in vegetables and fruits by liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory*, 2017, 27(24): 3514–3518.
- [36] ÖZCAN R, CESUR B, TEZGİT E, *et al.* Determination of pyridaphenthion in soybean sprout samples by gas chromatography mass spectrometry with matrix matching calibration strategy after metal sieve linked double syringe based liquid-phase microextraction [J]. *Food Chemistry*, 2021, 342: 128294.
- [37] 张文华, 谢文, 侯建波, 等. 气相色谱-串联质谱法测定豆芽与番茄中 6 种植物生长调节剂[J]. *分析测试学报*, 2016, 35(10): 1241–1247.
- ZHANG WH, XIE W, HOU JB, *et al.* Determination of 6 plant growth regulators in bean sprout and tomato by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2016, 35(10): 1241–1247.
- [38] 宋利军, 付倩, 刘瑞弘, 等. QuEChERS 提取-气相色谱-质谱法测定豆芽中的 7 种植物生长调节剂残留量[J]. *中国卫生检验杂志*, 2017, 27(13): 1855–1857.
- SONG LJ, FU Q, LIU RH, *et al.* Determination of 7 plant growth regulators residues in bean sprouts by QuEChERS-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory*, 2017, 27(13): 1855–1857.
- [39] 程盛华, 张利强, 魏晓奕, 等. 气相色谱-串联质谱法测定豆芽中 16 种塑化剂[J]. *食品工业*, 2015, 36: 286–292.
- CHENG SH, ZHANG LQ, WEI XY, *et al.* Simultaneous determination of 16 kinds of phthalate plasticizers in bean sprouts by QuEChERS-gas chromatography/triple quadrupole mass spectrometry [J]. *The Food Industry*, 2015, 36: 286–292.
- [40] 袁文新, 刘志平, 刘平, 等. 固相萃取-超高效液相色谱法同时测定豆芽中 4 种植物生长调节剂[J]. *卫生研究*, 2017, 46(5): 783–787.
- YUAN WX, LIU ZP, LIU P, *et al.* Determination of 4 kinds of plant growth regulator in bean sprout by solid phase extraction column coupled with ultra-high performance liquid chromatography [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2017, 46(5): 783–787.
- [41] ZHU S, CHEN SW, LI Y. Simultaneous analysis of thirteen phytohormones in fruits and vegetables by SPE-HPLC-DAD [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2020, 29(11): 1587–1595.
- [42] 陈君, 安东各, 许莉, 等. 豆芽中甲硝唑、多菌灵、赤霉素、6-苄基腺嘌呤、2,4-二氯苯氧乙酸的定量检测[J]. *化学通报*, 2013, 77(9): 916–918.
- CHEN J, AN DG, XU L, *et al.* Simultaneous quantitative detection of metronidazole, carbendazim, gibberellic acid, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, and 6-benzyladenine in bean sprout [J]. *Chemistry*, 2013, 77(9): 916–918.
- [43] 刘赐敏, 周金森. 豆芽中尿素咕吨氢醇柱后衍生-液相色谱测定法[J]. *职业与健康*, 2022, 38(10): 1333–1336.
- LIU CM, ZHOU JS. Determination of urea in soybean sprouts by high-performance liquid chromatography with post-column derivatization with xanthidol [J]. *Occupation and Health*, 2022, 38(10): 1333–1336.
- [44] 宋薇, 宋桂雪, 李荣斌, 等. 高效液相色谱荧光检测法测定豆芽中尿素含量[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(8): 86–90.
- SONG W, SONG GX, LI RB, *et al.* Determination of urea residue in soybean sprouts using high-performance liquid chromatography with fluorescence detection [J]. *Food Research and Development*, 2014, 35(8): 86–90.
- [45] 马凯, 杨昌彪, 崔姗姗, 等. 分散固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定豆芽中 96 种药物残留[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(12): 251–261.
- MA K, YANG CB, CUI SS, *et al.* Simultaneous determination of 96 drug residues in bean sprouts by dispersive-SPE-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(12): 251–261.
- [46] 孙晓冬, 郝杰, 毛婷, 等. 超高效液相色谱-串联四极杆质谱快速筛查豆芽中 51 种抗生素类药物的残留[J]. *食品科学*, 2017, 38(20): 327–333.
- SUN XD, HAO J, MAO T, *et al.* Rapid screening of 51 antibiotic residues in bean sprouts by UPLC-MS/MS [J]. *Food Science*, 2017, 38(20): 327–333.
- [47] 高宗林, 曹旭妮. 二维液相色谱测定绿豆芽中赤霉素、6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸和 2,4-二氯苯氧乙酸[J]. *化学试剂*, 2019, 41(1): 58–63.
- GAO ZL, CAO XN. Simultaneous determination of gibberellin acid, 6-benzyladenine, 4-chlorophenoxyacetic acid and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by two-dimensional liquid chromatography [J]. *Chemical Reagents*, 2019, 41(1): 58–63.
- [48] YIGAIMU A, CHANG JH, HOJI A, *et al.* A simple spectrofluorometric method for the determination of total auxins in mung bean sprouts [J]. *Journal of Analytical Chemistry*, 2020, 75(11): 1404–1407.
- [49] 白新伟, 陈定梅, 邓红江. 毛细管电泳分析检测豆芽中植物生长调节剂残留[J]. *分析科学学报*, 2021, 37(1): 133–136.
- BAI XW, CHEN DM, DENG HJ. Detection of residual plant growth regulators in bean sprouts by capillary electrophoresis [J]. *Journal of Analytical Science*, 2021, 37(1): 133–136.
- [50] 曹洪恩, 夏慧, 卢平, 等. 静态顶空-气相色谱法测定豆芽中乙烯利的农药残留[J]. *农药*, 2011, 50(4): 286–288.
- CAO HEN, XIA H, LU P, *et al.* Determination of ethephon residues in bean sprout samples by static headspace gas chromatography [J]. *Agrochemicals*, 2011, 50(4): 286–288.
- [51] 龚睿蓉, 金悦敏. 气相色谱法测定豆芽中 2,4-二氯苯氧乙酸残留量[J]. *农业工程*, 2016, 6(3): 46–49.

- GONG RR, JIN YM. Determination of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid residues in bean sprout by gas chromatography [J]. *Agricultural Engineering*, 2016, 6(3): 46–49.
- [52] 李继革, 宁静恒, 王玉飞, 等. 毛细管气相色谱法测定豆芽中的百菌清[J]. *中国卫生检验杂志*, 2006, 16(11): 1348–1349.
- LI JG, NING JH, WANG YF, *et al.* Determination of carbendazim in bean sprouts by capillary gas chromatography [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory*, 2006, 16(11): 1348–1349.
- [53] 颜金良, 颜勇卿, 王立, 等. 离子色谱法快速测定豆芽中 4-氯苯氧乙酸残留量[J]. *中国卫生检验杂志*, 2006(10): 1207–1208.
- YAN JL, YAN YQ, WANG L, *et al.* Rapid determination of 4-chlorophenoxyacetic acid residues in bean sprouts by ion chromatography [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory*, 2006(10): 1207–1208.
- [54] 芦春梅, 张晓燕, 陈月, 等. 豆芽中连二亚硫酸钠含量的高效离子色谱法检测[J]. *应用化工*, 2013, 42(8): 1529–1531.
- LU CM, ZHANG XY, CHEN Y, *et al.* The ion chromatography detection of sodium hydrosulphite in bean sprout [J]. *Applied Chemical Industry*, 2013, 42(8): 1529–1531.
- [55] 苏晓燕, 马光路, 张海芳. IEC 与 UV 测定黄豆芽和绿豆芽中亚硝酸盐含量[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(5): 120–122.
- SU XY, MA GL, ZHANG HF. Determination of nitrite content in yellow bean sprouts and mung bean sprouts by ion chromatography and spectrophotometry [J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(5): 120–122.
- [56] 杜科志, 杜海军, 张艳, 等. 石墨烯电化学传感器检测 4-氯苯氧乙酸的研究[J]. *现代化工*, 2020, 40(9): 231–234.
- DU KZ, DU HJ, ZHANG Y, *et al.* Determination of 4-chlorophenoxyacetic acid by graphene electrochemical sensor [J]. *Modern Chemical Industry*, 2020, 40(9): 231–234.
- [57] LEE S, KIM GY, MOON JH. Detection of 6-benzylaminopurine plant growth regulator in bean sprouts using OFRR biosensor and QuEChERS method [J]. *Analytical Methods*, 2013, 5(4): 961–966.
- [58] LI Y, LIU LQ, SONG SS, *et al.* Development of a gold nanoparticle immunochromatographic assay for the on-site analysis of 6-benzylaminopurine residues in bean sprouts [J]. *Food and Agricultural Immunology*, 2018, 29(1): 14–26.
- [59] YI JT, HAN XQ, ZHU Q, *et al.* A novel metal-organic framework of Co-hemin for portable and visual colorimetric detection of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid [J]. *Analytical Methods*, 2022, 15(1): 63–69.
- [60] 张萍, 郑大威, 刘晶, 等. 基于表面增强拉曼光谱技术的豆芽 6-BA 残留快速检测方法[J]. *光谱学与光谱分析*, 2012, 32(5): 1266–1269.
- ZHANG P, ZHENG DW, LIU J, *et al.* Rapid detection of 6-benzylaminopurine residues in sprout beans by surface-enhanced Raman spectroscopy [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2012, 32(5): 1266–1269.
- [61] 程盛华, 张利强, 魏晓奕, 等. 固相萃取-在线凝胶渗透色谱-气相色谱-质谱法测定豆芽中 53 种农药残留量[J]. *理化检验(化学分册)*, 2015, 51(2): 146–152.
- CHENG SH, ZHANG LQ, WEI XY, *et al.* GC-MS determination of residual amounts of 53 pesticides in bean sprout with online gel permeation chromatography and solid-phase extraction [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis)*, 2015, 51(2): 146–152.
- [62] WANG W, HE M, CHEN BB, *et al.* Simultaneous determination of acidic phytohormones in cucumbers and green bean sprouts by ion-pair stir bar sorptive extraction-high performance liquid chromatography [J]. *Talanta*, 2017, 170: 128–136.
- [63] QIN PG, ZHU WL, HAN LZ, *et al.* Monodispersed mesoporous SiO_2 -metal-organic framework (MSN@MIL-101(Fe)) composites as sorbent for extraction and preconcentration of phytohormones prior to HPLC-DAD analysis [J]. *Microchimica Acta*, 2020, 187(6): 367.
- [64] 胡晓科, 孙丹红, 文君, 等. 荧光衍生-HPLC法检测豆芽中苯氧乙酸类植物生长调节剂残留[J]. *分析试验室*, 2018, 37(11): 1320–1323.
- HU XK, SUN DH, WEN J, *et al.* Determination of phenoxyacetic acid phytohormones residues based on fluorescence derivatization [J]. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2018, 37(11): 1320–1323.
- [65] ZENG QL, RUAN YJ, SUN LS, *et al.* Development of graphene oxide functionalized cotton fiber based solid phase extraction combined with liquid chromatography-fluorescence detection for determination of trace auxins in plant samples [J]. *Chromatographia*, 2018, 81(6): 861–869.
- [66] ZHANG FZ, ZHAO PY, SHAN WL, *et al.* Development of a method for the analysis of four plant growth regulators (PGRs) residues in soybean sprouts and mung bean sprouts by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2012, 89(3): 674–679.
- [67] MA LY, ZHANG HY, XU WT, *et al.* Simultaneous determination of 15 plant growth regulators in bean sprout and tomato with liquid chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry [J]. *Food Analytical Methods*, 2013, 6(3): 941–951.
- [68] KIM KG, PARK DW, KANG GR, *et al.* Simultaneous determination of plant growth regulator and pesticides in bean sprouts by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2016, 208: 239–244.
- [69] 谢寒冰, 周明莹, 赵海峰, 等. 高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱法同时检测豆芽中的 3 种外源植物激素残留[J]. *色谱*, 2014, 32(5): 493–498.
- XIE HB, ZHOU MY, ZHAO HF, *et al.* Determination of three exogenous plant hormone residues in bean sprout by high performance liquid chromatography quadrupole-time of flight mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2014, 32(5): 493–498.
- [70] 马凯, 杨昌彪, 崔姗姗, 等. 超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱对豆芽中药物残留的非靶向筛查和定量分析[J]. *分析试验室*, 2023, 42(8): 1074–1079.
- MA K, YANG CB, CUI SS, *et al.* Untargeted screening and quantitation of drug residues in bean sprouts by ultra performance liquid chromatography-quadrupole/orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2023, 42(8): 1074–1079.
- [71] 胡晓琴, 高娜, 冯荣荣. 二维液相色谱技术在食品检测中的探索应用[J]. *云南化工*, 2024, 51(7): 154–156.
- HU XQ, GAO N, FENG RR. Application research of two-dimensional liquid chromatography technology in food detection [J]. *Yunnan Chemical Technology*, 2024, 51(7): 154–156.
- [72] MAN YR, SHU M, WANG D, *et al.* Determination of 6-benzylaminopurine in bean sprouts by capillary electrophoresis compared with HPLC [J]. *Food Analytical Methods*, 2016, 9(11): 3025–3031.
- [73] ZHENG Y, PENG XF, WU YW. Field-amplified sample injection and solid-phase extraction for sensitivity improvement of electrophoretic determination of indole-3-acetic acid and indole-3-butyric acid in food samples [J]. *Food Analytical Methods*, 2017, 11(4): 1155–1162.

(责任编辑: 安香玉 蔡世佳)