

聊城市市售豆芽菜中 5 种植物生长调节剂 残留调查分析

杜兴兰, 李淑静*, 张志华, 张树振, 翟雪华

(聊城市食品药品检验检测中心, 聊城 252000)

摘要: **目的** 分析聊城市东昌府区市售绿豆芽和黄豆芽中 6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸、2,4-二氯苯氧乙酸、吲哚乙酸、吲哚丁酸的残留情况。**方法** 样品采用 QuEChERS 方法提取, 用含有 0.1% 甲酸的 5 mmol/L 乙酸铵水(A)和甲醇(B)作为流动相进行梯度洗脱, 质谱采用多反应监测-信息依赖性采集-增强子离子扫描模式 (multiple reaction monitoring-information dependent acquisition-enhanced product ion, MRM-IDA-EPI), 同时得到的子离子谱图用于谱图库检索进行定性确证分析。**结果** 绿豆芽和黄豆芽中均存在植物生长调节剂残留, 在所检测的 20 份样品中, 10 份检出 6-苄基腺嘌呤, 11 份检出 4-氯苯氧乙酸, 20 份检出吲哚乙酸, 其他两项均未检出。阳性样品的谱图匹配度均高于 70%。**结论** 市售豆芽中植物生长调节剂的滥用依然存在, 必须持续监测和控制豆芽中植物生长调节剂的残留, 谨防滥用植物生长调节剂给消费者健康带来的风险。

关键词: 豆芽; 植物生长调节剂; 确证分析

Investigation and analysis of 5 plant growth regulator residues in commercial sprouts in Liaocheng city

DU Xing-Lan, LI Shu-Jing*, ZHANG Zhi-Hua, ZHANG Shu-Zhen, ZHAI Xue-Hua

(Liaocheng Institute for Food and Drug Control, Liaocheng 252000, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the residues of 6-benzylaminopurine(6-BAP), 4-chlorophenoxyacetic acid(4-CPA), 2,4-dichlorophenoxyacetic acid(2,4-D), indole-3-acetic acid (IAA) and 3-indolebutyric acid (IBA) in soybean sprouts and mung bean sprouts in Dongchangfu district, Liaocheng city. **Methods** The samples were extracted by QuEChERS method, and 5 mmol/L ammonium acetate water (A) and methanol (B) containing 0.1% formic acid were used as mobile phase for gradient elution. Multiple reaction monitoring-information dependent acquisition-enhanced product ion (MRM-IDA-EPI) was used for mass spectrometry, and the resulting sub-ion spectra were used to spectral database retrieval for qualitative confirmation analysis. **Results** Plant growth regulators were found in mung bean sprouts and soybean sprouts. Among the 20 samples tested, 6-benzyl adenine was detected in 10, 4-chlorophenoxyacetic acid in 11, and indoleacetic acid in 20, the other two items were not detected. The spectral matching degree of positive samples was more than 70%. **Conclusion** The abuse of plant growth regulators in commercially available bean sprouts still exists. It is necessary to continuously monitor and control the residues of plant growth regulators in bean sprouts, and to prevent the risks to consumers' health caused by the abuse of plant growth regulators.

*通讯作者: 李淑静, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: lishujing0412@126.com

*Corresponding author: LI Shu-Jing, Master, Engineer, Liaocheng Institute for Food and Drug Control, No.6, Hunan Road, Dongchangfu District, Liaocheng 252000, China. E-mail: lishujing0412@126.com

KEY WORDS: bean sprouts; plant growth regulators; confirmatory analysis

1 引言

豆芽是人们喜食的一种传统的物美价廉的蔬菜, 又称“活体蔬菜”, 其品种丰富、营养全面、清香脆嫩, 深受人们喜爱。豆芽的正常生产周期一般为 4~5 d 左右, 一些不法商贩为了缩短生产周期、增加产量、改善豆芽外观, 在生产黄豆芽、绿豆芽、豆苗的过程中非法添加“AB 粉”、“无根豆芽素”等化学物质^[1]。使用这种添加剂的豆芽胚轴会长得又长、又白、又嫩, 极少有胚根的生发, 卖相较好, 一般只需 2 d 便可出售。“毒豆芽”危害非常大, 可以导致儿童发育早熟、女性生理改变、老年人骨质疏松等, 对人体有致癌、致畸形的作用, 即使有些危害不会在短期内出现, 长期食用也会影响人体内分泌和代谢平衡等^[2-4]。豆芽广泛流行于中国餐桌, 因此应该加强对豆芽菜的安全监管。

2015 年 4 月, 国家食品药品监督管理总局、农业部和国家卫生和计划生育委员会联合发布了关于豆芽生产过程中禁止使用 6-苄基腺嘌呤等物质的公告(2015 年第 11 号), 明确表示 6-苄基腺嘌呤(6-benzylaminopurine, 6-BAP)、4-氯苯氧乙酸(4-chlorophenoxyacetic acid, 4-CPA)、赤霉素等作为低毒农药登记管理并限定了使用范围, 豆芽生产不在可使用范围内, 且目前豆芽生产过程中使用上述物质的安全性尚无结论, 规定豆芽生产和经营过程禁止使用上述物质^[5]。但是对于豆芽中 2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-dichlorophenoxyacetic acid, 2,4-D)、吲哚乙酸(indole-3-acetic acid, IAA)、吲哚丁酸(3-INDOLEBUTYRIC acid, IBA)的残留限量还没有明确要求。根据近几年全国各地监测机构的检测结果, 豆芽中依旧含有植物生长调节剂的成分, 主要成分为赤霉素、6-BAP、4-CPA、2,4-D、IAA、IBA、 β -萘乙酸等^[6]。

目前关于豆芽中植物生长调节剂的检测方法主要为气相色谱法^[7,8]、气相色谱-质谱联用法^[9-15]、液相色谱法^[16-19]、液相色谱-质谱联用法^[20-24]。其中, 液相色谱-质谱联用法因具有高灵敏度和高选择性的优势, 成为了近年来常用的色谱检测手段^[2]。国家食品药品监督管理总局发布的 2017 年第 24 号公告《豆芽中植物生长调节剂的测定》^[25]以相对于最强离子丰度的百分比作为定性离子的相对离子丰度, 相对离子丰度大于 50%时, 偏差不超过 20%, 则确定试样中检出相应植物生长调节剂。但在实际分析中, 有时采用此确证规则会出现困扰。离子阱质谱的多反应监测-信息依赖性采集-增强子离子扫描(multiple reaction monitoring-information dependent acquisition-enhanced product ion, MRM-IDA-EPI)模式通过一次进样不仅可以得

到高灵敏度的 MRM 定量结果, 也可同时得到相应的二级全扫描质谱图, 通过二级特征碎片离子标准数据库检索进行确证^[26]。

本研究调查分析了聊城市东昌府区市售豆芽菜中 5 种植物生长调节剂的污染残留状况, 并采用离子阱质谱进行确证, 为政府监管和规范豆芽市场提供一些基础数据, 以保护消费者的健康。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

市售豆芽样品: 从聊城市东昌府区农贸市场、蔬菜商店和大型超市随机抽取 16 批绿豆芽(编号为绿豆芽 1~16)、4 批黄豆芽(编号为黄豆芽 1~4)作为试验材料, 其中绿豆芽 1~4、黄豆芽 4 购买于蔬菜商店, 绿豆芽 5~13、黄豆芽 1~3 购买于农贸市场, 绿豆芽 14~16 购买于大型超市。

6-BAP 标准物质(CAS 号 1214-39-7, 批号: 201903, 纯度 100%)、2,4-D 标准物质(CAS 号 94-75-7, 批号: 201903, 纯度 100%)(农业部环境保护科研监测所); 4-CPA 标准物质(CAS 号 122-88-3, 批号: G158449, 纯度 98.1%, 德国 Dr.Ehrenstorfer 公司); IAA 标准物质(CAS 号 87-51-4, 批号: 0561807, 纯度 99.7%)、IBA 标准物质(CAS 号 133-32-4, 批号: 0571807, 纯度 98.1%)(北京坛墨质检科技有限公司)。

QuEChERS 试剂盒(山东青云实验耗材有限公司); 乙腈(色谱纯, 美国 Spectrum 公司); 甲醇(色谱纯, 美国 Spectrum 公司); 甲酸(色谱纯, 加拿大 Fisher Scientific 公司); 乙酸铵(色谱纯, 加拿大 Fisher Scientific 公司); 纯净水(济南娃哈哈恒枫饮料有限公司)。

标准储备液: 称取适量的标准物质, 用甲醇溶解并稀释配置成 1.0 g/L 于棕色瓶中, 用于标准工作溶液的配制, 并置于-20 °C 冰箱中保存备用。

基质工作溶液: 用基质空白溶液将标准储备溶液稀释为 0.0、1.0、10.0、20.0、50.0、100.0、150.0、200.0 $\mu\text{g/L}$ 的系列标准溶液, 进样测定, 以离子色谱图中各组分的峰面积定量, 绘制基质工作曲线。

2.2 仪器与设备

ME802 电子天平(瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司产品); KQ-600E 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); UMV-2 多管漩涡混合器(山东青云实验耗材有限公司); MV5 全自动平行浓缩仪(北京莱伯泰科仪器股份有限公司产品); 5500 QTRAP 高效液相色谱-串联质谱仪(美国 AB Sciex 公司)。

2.3 方法

2.3.1 色谱条件

色谱柱: ACQUITY UPLC BEH C₁₈(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm); 流动相: A 为含 0.1%甲酸的 5 mmol/L 乙酸铵水溶液, B 为甲醇; 柱温 35 °C; 进样量 5 μL。梯度洗脱程序列于表 1。

表 1 高效液相色谱梯度洗脱条件
Table 1 Gradient elution conditions of high performance liquid chromatography

时间/min	流速/(μL/min)	流动相 A/%	流动相 B/%
0.00	200	95	5
3.00	200	95	5
3.10	200	90	10
19.00	200	20	80
21.00	200	20	80
21.10	200	95	5
24.00	200	95	5

2.3.2 质谱条件

离子源: ESI; 扫描方式: 多反应监测-信息依赖性采集-增强子离子扫描模式; 雾化气流量: 55 mL/min; 气帘气流量: 30 mL/min; 辅助加热气流量: 55 mL/min; 离子源温度: 550 °C; 碰撞气流量: 6 mL/min。5 种待测物的监测离子对等参数见表 2。

2.3.3 前处理方法

QuEChERS 样品前处理方法: 称取 15 g(精确至 0.001 g)匀浆后豆芽于 50 mL 具塞离心管中, 加入 15 mL 含 1% 甲酸的乙腈溶液, 涡旋振荡 10 min, 超声 20 min, 加入 QuEChERS 提取包(4 g 硫酸镁(MgSO₄)+1 g 醋酸钠), 旋涡振荡 3 min 后, 4000 r/min 离心 5 min, 吸取 8 mL 乙腈层于装有 25 mg N-丙基乙二胺+150 mg MgSO₄的分散固相萃取试剂管中, 旋涡振荡 1 min, 10000 r/min 离心 3 min, 取 1 mL 上清液氮气吹干, 用甲醇定容至 1 mL, 过 0.22 μm 滤

膜后于进样小瓶中, 供高效液相色谱-串联质谱仪测定。

3 结果与分析

3.1 豆芽中 5 种植物生长调节剂测定结果

对 16 批绿豆芽和 4 批黄豆芽中的植物生长调节剂进行分析, 发现绿豆芽和黄豆芽中都普遍含有植物生长调节剂, 结果如表 3 所示。2,4-D、IBA 未检出; 所有样品中均检出 IAA, 检测范围为 7.23~498.39 μg/kg; 6-BAP、4-CPA 检出率分别为 50%和 55%, 检测范围分别为 1.31~175.98 μg/kg、10.00~177.45 μg/kg。其中 1 个样品中 6-BAP、3 个样品中 4-CPA、7 个样品中 IAA 的残留浓度较高, 超过 100 μg/kg。

叶佳明等^[27]从市场上抽取的 20 批次黄豆芽、绿豆芽样品进行检测, 6-BAP 有 12 批次检出, 含量为 0.5~18.5 μg/kg, IAA 有 4 批次检出, 含量为 3.0~12.0 μg/kg; 4-CPA 有 9 批次检出, 含量为 10.5~780 μg/kg, IBA 未检出。李玥颖^[28]购自北京市菜市场 5 个商家的绿豆芽均存在 4-CPA 残留, 残留量在 80~140 μg/kg, 6-BAP 残留量在 50-100 μg/kg。吉林省抽取的 5 批黄豆芽、9 批绿豆芽样品中, 4 批黄豆芽和 6 批绿豆芽检出 4-CPA, 3 批绿豆芽检出 IAA, 2,4-D、IBA 未检出^[29]。刘印平等^[6]对河北省 10 个区市 21 份黄豆芽和 31 份绿豆芽中豆芽菜开展了食品安全风险监测, 4-CPA、IAA 和 IBA 检出率较高, 2,4-D 未检出。黄豆芽中 4-CPA、IAA 和 IBA 检出率分别为 14.29%、66.67%、38.10%, 检出范围分别为 23~120、24~140、1.7~94 μg/kg。绿豆芽中 4-CPA、IAA 和 IBA 检出率分别为 25.81%、64.52%、16.13%, 检出范围分别为 3.1~570、23~5300、2.5~88 μg/kg。其中 2 个样品中 IAA 的残留浓度较高, 分别为 2670 μg/kg 和 5300 μg/kg。IAA 是一种刺激植物生长发育过程的代表性内源性激素, 这可以解释它检出率较高的原因。由此可见, 不论是黄豆芽还是绿豆芽, 不论是蔬菜商店、农贸市场还是大型超市所售的豆芽中, 植物生长调节剂残留检出率均普遍较高。

表 2 5 种植物生长调节剂的质谱采集参数
Table 2 MS parameters for 5 kinds of plant growth regulators

化合物	母离子(<i>m/z</i>)	子离子(<i>m/z</i>)	喷雾电压/V	去簇电压/V	碰撞室入口电压/V	碰撞能量/V	碰撞室出口电压/V
6-BAP	224.2	133.0	-4500	-100	-10	-30	-12
		106.0	-4500	-100	-10	-44	-12
4-CPA	184.8	126.7	-4500	-40	-10	-16	-12
		110.7	-4500	-40	-10	-20	-12
2,4-D	218.9	161.0	-4500	-60	-10	-21	-12
		125.1	-4500	-60	-10	-36	-12
IAA	176.2	130.3	5500	80	10	27	13
		103.2	5500	80	10	43	13
IBA	204.1	186.2	5500	110	10	21	13
		130.4	5500	110	10	33	13

3.2 豆芽中 5 种植物生长调节剂确证

通过自建二级谱库进行对比,结果如表 4 所示,所有检出物的匹配值均大于 70%,可以确定为阳性。与传统三重四级杆质谱法相比,离子阱质谱的检出限较低,仅为传统质谱法的 1/4-1/7^[26]。BJS 201703《豆芽中植物生长调节剂的

测定》方法中,5 种植物生长调节剂的检出限为 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[25],按照 10 倍信噪比确定定量限的规则,本研究中定量限为 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。绿豆芽 9 中 6-BAP 定量结果为 1.31 $\mu\text{g}/\text{kg}$,通过自建谱库进行确证,匹配值为 76.04%,可以确证为 6-BAP。可见,MRM-IDA-EPI 模式大大提高了检测的灵敏度。

表 3 5 种植物生长调节剂残留结果($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Table 3 Residual Results of 5 kinds of plant growth regulators($\mu\text{g}/\text{kg}$)

样品编号	6-苄基腺嘌呤	4-氯苯氧乙酸	2,4-二氯苯氧乙酸	吲哚乙酸	吲哚丁酸
绿豆芽 1	1.67	N/A	N/A	34.71	N/A
绿豆芽 2	2.02	N/A	N/A	66.55	N/A
绿豆芽 3	N/A	10.00	N/A	32.67	N/A
绿豆芽 4	N/A	133.93	N/A	372.32	N/A
绿豆芽 5	3.99	52.61	N/A	56.02	N/A
绿豆芽 6	N/A	52.25	N/A	214.42	N/A
绿豆芽 7	6.90	N/A	N/A	47.64	N/A
绿豆芽 8	N/A	55.69	N/A	498.39	N/A
绿豆芽 9	1.31	N/A	N/A	35.28	N/A
绿豆芽 10	N/A	24.35	N/A	30.73	N/A
绿豆芽 11	2.56	48.27	N/A	203.51	N/A
绿豆芽 12	N/A	65.72	N/A	153.24	N/A
绿豆芽 13	1.49	N/A	N/A	31.76	N/A
绿豆芽 14	N/A	135.67	N/A	353.41	N/A
绿豆芽 15	N/A	13.31	N/A	353.18	N/A
绿豆芽 16	N/A	N/A	N/A	47.99	N/A
黄豆芽 1	N/A	N/A	N/A	13.82	N/A
黄豆芽 2	175.98	N/A	N/A	28.65	N/A
黄豆芽 3	18.29	N/A	N/A	16.33	N/A
黄豆芽 4	32.05	177.45	N/A	7.23	N/A

注: *N/A: 未检出,方法的检出限均为 1.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

表 4 5 种植物生长调节剂谱图匹配值
Table 4 Matching values of 5 kinds of plant growth regulators

样品编号	6-苄基腺嘌呤/%	4-氯苯氧乙酸/%	2,4-二氯苯氧乙酸/%	吲哚乙酸/%	吲哚丁酸/%
绿豆芽 1	83.28	N/A	N/A	88.99	N/A
绿豆芽 2	84.12	N/A	N/A	93.55	N/A
绿豆芽 3	N/A	77.92	N/A	88.19	N/A
绿豆芽 4	N/A	95.77	N/A	87.66	N/A
绿豆芽 5	93.49	94.02	N/A	90.22	N/A
绿豆芽 6	N/A	93.12	N/A	87.18	N/A
绿豆芽 7	95.57	N/A	N/A	92.29	N/A
绿豆芽 8	N/A	95.72	N/A	85.99	N/A
绿豆芽 9	76.04	N/A	N/A	90.52	N/A
绿豆芽 10	N/A	90.41	N/A	88.74	N/A
绿豆芽 11	93.07	95.74	N/A	87.68	N/A
绿豆芽 12	N/A	95.92	N/A	88.38	N/A
绿豆芽 13	83.73	N/A	N/A	88.23	N/A
绿豆芽 14	N/A	94.49	N/A	89.18	N/A
绿豆芽 15	N/A	85.73	N/A	87.67	N/A
绿豆芽 16	N/A	N/A	N/A	89.56	N/A
黄豆芽 1	N/A	N/A	N/A	74.25	N/A
黄豆芽 2	93.35	N/A	N/A	90.00	N/A
黄豆芽 3	97.22	N/A	N/A	84.27	N/A
黄豆芽 4	93.77	94.98	N/A	72.97	N/A

4 结 论

本研究采用的高效液相色谱-离子阱串联质谱法在准确定量的同时能得到离子谱图,进而用谱图检索的方法进行定性分析,大大提高了检测的灵敏度且定性的准确性大幅提高。根据抽检情况,市售黄豆芽和绿豆芽中植物生长调节剂残留检出率都比较高,特别是6-BAP、4-CPA、IAA。目前,我国仅发布了禁止6-BAP、4-CPA在豆芽中使用的公告,GB 2763-2016《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》中对2,4-D在豆芽中的残留限量未做具体规定,IAA、IBA未被列出^[30]。因此相关部门应进一步加快豆芽相关标准修订和出台,规范豆芽生产经营秩序。但是本研究中的检测样品比较少,所得检出率不一定能代表所有产品,需要加大采集的样本量。所以,应当加强豆芽中植物生长调节剂残留的监测力度,同时加快豆芽相关标准修订和出台,为百姓食用安全的豆芽提供保障。

参考文献

- 马桂娟,汤丽华,朱捷,等. 高效液相色谱串联质谱法测定豆芽中4种药物残留[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(10): 138-142.
- Ma GJ, Tang LH, Zhu J, *et al.* Determination of four drug residues in bean sprouts by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Res Dev, 2018, 39(10): 138-142.
- 丁丽,曾绍东,魏晓奕,等. 超高效液相色谱-质谱法测定豆芽中多菌灵、2,4-二氯苯氧乙酸、恩诺沙星残留[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 169-175.
- Ding L, Zeng SD, Wei XY, *et al.* Determination of carbendazim, 2,4-D and enrofloxacin residues in bean sprouts by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Sci, 2014, 35(22): 169-175.
- 郑宝珠,贺琴,樊莉蕊,等. 环境中的植物激素与人体健康[J]. 中国社会医学杂志, 2007, 24(4): 251-253.
- Zheng BZ, He Q, Fan LR, *et al.* The effect of plant hormone in environment on human health [J]. Chin J Soc Med, 2007, 24(4): 251-253.
- 唐莉娟,万益群. 植物激素的分析研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 393-398.
- Tang LJ, Wan YQ. Progress in methods for analyzing plant hormone [J]. Food Sci, 2009, 30(21): 393-398.
- 佚名. 关于豆芽生产过程中禁止使用6-苄基腺嘌呤等物质的公告[J]. 中国食品卫生杂志, 2015, 27(3): 276.
- Anonymity. Notice on the prohibition of the use of 6-benzyl adenine and other substances in the production of bean sprouts [J]. Chin J Food Hyg, 2015, 27(3): 276.
- 刘印平,王丽英,路杨,等. 河北省市售豆芽菜中6种植物生长调节剂残留调查分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(10): 3827-3833.
- Liu YP, Wang LY, Lu Y, *et al.* Analysis of the residues of 6 kinds of plant growth regulators in bean sprouts in Hebei province [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(10): 3827-3833.
- 常宇文,吴晓宗,李伟,等. 凝胶渗透色谱-气相色谱法测定豆芽中2,4-二氯苯氧乙酸残留量[J]. 食品工业科技, 2007, 28(12): 203-204.
- Chang YW, Wu XZ, Li W, *et al.* Determination of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid residues in bean sprouts by gel permeation chromatography and gas chromatography [J]. Sci Technol Food Ind, 2007, 28(12): 203-204.
- 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]. Agric Eng, 2016, 6(3): 46-49.
- 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, 1862.
- 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]. Chin J Health Lab Technol, 2017, 27(13): 1855-1857, 1862.
- 段丹丹,马青青,张利锋,等. 气相色谱串联质谱检测豆芽中生长调节剂残留[J]. 食品工业, 2017, 38(3): 265-268.
- Duan DD, Ma QQ, Zhang LF, *et al.* Determination of growth regulators in bean sprout by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Ind, 2017, 38(3): 265-268.
- 田丽,胡佳薇,王敏娟,等. 气相色谱-质谱法测定豆芽中6种植物生长调节剂残留[J]. 中国卫生检验杂志, 2016, 26(20): 2913-2915.
- Tian L, Hu JW, Wang MJ, *et al.* Determination of 6 plant growth regulators in bean sprouts by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Health Lab Technol, 2016, 26(20): 2913-2915.
- 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]. J Instrum Anal, 2016, 35(10): 1241-1247.
- 李殷,徐霞,袁荷芳,等. 气相色谱-质谱法分析市售豆芽中生长调节剂[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(27): 9527-9528.
- Li Y, Xu X, Yuan HF, *et al.* Analysis on growth regulator in bean sprout by GC-MS method [J]. J Anhui Agric Sci, 2014, 42(27): 9527-9528.
- 吴平谷,谭莹,张晶,等. 分级净化结合气相色谱-质谱联用法测定豆芽中10种植物生长调节剂[J]. 分析化学, 2014, 42(6): 866-871.
- Wu PG, Tan Y, Zhang J, *et al.* Determination of 10 plant growth regulators in bean sprouts by sequential cleaning-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Anal Chem, 2014, 42(6): 866-871.
- 田丽,胡佳薇,程国霞,等. 陕西省市售豆芽中植物生长调节剂的残留监测[J]. 卫生研究, 2016, 45(1): 128-129, 132.
- Tian L, Hu JW, Cheng GX, *et al.* Monitoring of plant growth regulator residues in bean sprouts sold in Shaanxi province [J]. J Hyg Res, 2016, 45(1): 128-129, 132.
- 李小平,陈晓虹,姚浔平,等. HPLC法测定豆芽中6-苄基腺嘌呤残留研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2005, 15(2): 149-150.
- Li XP, Chen XH, Yao XP, *et al.* Determination of 6-benzyladenine in bean-sprout by high performance liquid chromatography [J]. Chin J Health Lab Technol, 2005, 15(2): 149-150.
- 芦智远,冯敬轶,汪静雯,等. 固相萃取-高效液相色谱法测定豆芽中4-氯苯氧乙酸钠和6-苄基腺嘌呤的残留量[J]. 化学分析计量, 2017, 26(5): 55-58.

- Lu ZY, Feng XY, Wang JW, *et al.* Determination of residual of 4-chlorobenzene sodium acetate and 6-benzyladenine in bean sprout by SPE-HPLC [J]. *Chem Anal Meter*, 2017, 26(5): 55–58.
- [18] 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, 812.
- 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]. *J Hyg Res*, 2017, 46(5): 783–787, 812.
- [19] 田莉莉, 刘晓玲, 刘霞. 高效液相色谱法测定豆芽中痕量 2,4-二氯苯氧乙酸[J]. *粮食与食品工业*, 2016, 23(3): 72–75.
- Tian LL, Liu XL, Liu X. Determination of the trace amounts of 2,4-D in bean sprout samples by HPLC with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid [J]. *Cereal Food Ind*, 2016, 23(3): 72–75.
- [20] 程盛华. 豆芽中三类有害物残留检测方法的研究[D]. 海口: 海南大学, 2015.
- Cheng SH. Study on residue determination of three chemicals in sprout [D]. Haikou: Hainan University, 2015.
- [21] 黄志波, 何健安, 梁志刚, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定豆芽中 21 种植物生长调节剂[J]. *化学试剂*, 2019, 41(4): 392–397.
- Huang ZB, He JA, Liang ZG, *et al.* Determination of 21 types of plant growth regulator in bean sprouts by UPLC-MS/MS [J]. *Chem Reag*, 2019, 41(4): 392–397.
- [22] 廖浩, 蒋湘, 苏海雁, 等. 超高效液相色谱-四级杆/静电场轨道阱高分辨质谱测定豆芽中的 11 种植物生长调节剂[J]. *食品科技*, 2019, 44(2): 333–338.
- Liao H, Jiang X, Su HY, *et al.* Determination of 11 plant growth regulator in bean sprouts by UPLC-Q-Orbitrap HRMS [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(2): 333–338.
- [23] 韦航, 邹强, 荣杰峰, 等. 高效液相色谱-串联质谱同时测定豆芽中 8 种生长调节剂残留量[J]. *广东化工*, 2016, 43(23): 118–120, 126.
- Wei H, Zou Q, Rong JF, *et al.* Determination of eight growth regulators in bean sprouts by HPLC-MS/MS [J]. *Guangdong Chem Tnd*, 2016, 43(23): 118–120, 126.
- [24] 程盛华, 杨春亮, 曾绍东, 等. 分散固相萃取-超高效液相色谱-串质谱法测定豆芽中 10 种植物生长剂和杀菌剂[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(12): 53–59.
- Cheng SH, Yang CL, Zeng SD, *et al.* Simultaneous determination of ten plant growth regulators and fungicides in bean sprouts using QuEChERS-UPLC-MS/MS [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(12): 53–59.
- [25] BJS 201703 豆芽中植物生长调节剂的测定[S].
- BJS 201703 Determination of plant growth regulator in bean sprouts [S].
- [26] 杜兴兰, 李淑静, 牟慧, 等. 高效液相色谱-三重四级杆-离子阱串联质谱法在食品分析中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(7): 1948–1954.
- Du XL, Li SH, Mou H, *et al.* Application of high performance liquid chromatography-quadrupole/linear ion trap mass spectrometry in food analysis [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(7): 1948–1954.
- [27] 叶佳明, 王京, 钟世欢, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定豆芽中 6 种植物生长调节剂的残留[J]. *农产品加工*, 2018, (2): 39–42.
- Ye JM, Wang J, Zhong SH, *et al.* Determination of six growth regulators in bean sprouts by HPLC- MS/MS [J]. *Farm Prod Process*, 2018, (2): 39–42.
- [28] 李玥颖. 高效液相色谱-质谱测定豆芽中 4-氯苯氧乙酸钠和 6-苄基腺嘌呤残留[J]. *现代食品*, 2018, (15): 101–103, 108.
- Li YY. Determination of sodium 4-chlorophenoxyacetate and 6-benzyl adenine residues in soybean sprouts by high performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. *Mod Food*, 2018, (15): 101–103, 108.
- [29] 石金娥, 侯宇, 王莹, 等. 吉林省市售豆芽中 7 种植物生长调节剂的含量监测分析[J]. *吉林蔬菜*, 2014, 12: 54–55.
- Shi JE, Hou Y, Wang Y, *et al.* Monitoring of 7 kinds of plant growth regulators in market mean sprouts from Jilin province [J]. *Jilin Vegt*, 2014, 12: 54–55.
- [30] GB 2763-2016 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量[S].
- GB 2763-2016 National food safety standard-Maximum residue limits for pesticides in food [S].

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



杜兴兰, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。

E-mail: dbleustar@163.com



李淑静, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: lishujing0412@126.com