

# 河北省市售豆芽菜中6种植物生长调节剂 残留调查分析

刘印平<sup>1</sup>, 王丽英<sup>1</sup>, 路 杨<sup>1</sup>, 常凤启<sup>1</sup>, 杨立新<sup>1,2</sup>, 张永茂<sup>1\*</sup>

(1. 河北省疾病预防控制中心, 河北省食品安全风险监测重点实验室, 石家庄 050021;

2. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871)

**摘要:** **目的** 分析调查6种植物生长调节剂在黄豆芽和绿豆芽中残留情况。**方法** 2014年,应用气相色谱-质谱法对河北省10个区市在本辖区的市场销售的豆芽菜开展了食品安全风险监测,监测项目为4-氯苯氧乙酸、吲哚乙酸、2,4-二氯苯氧乙酸、2,4-二氯苯氧乙酸丁酯、吲哚丁酸、萘乙酸。**结果** 在所检测的52份样品中,其中12份检出4-氯苯氧乙酸、33份检出吲哚乙酸、13份检出吲哚丁酸,其他三项均未检出。检出样品均未超出国家规定的植物生长调节剂的最大残留限量(MRLs)。**结论** 有必要持续监测和控制豆芽中生长调节剂和植物激素的残留,禁防滥用植物生长调节剂给人类健康带来的风险。

**关键词:** 生物生长调节剂; 黄豆芽; 绿豆芽; 残留检测

## Analysis of the residues of 6 kinds of plant growth regulators in bean sprouts in Hebei province

LIU Yin-Ping<sup>1</sup>, WANG Li-Ying<sup>1</sup>, LU Yang<sup>1</sup>, CHANG Feng-Qi<sup>1</sup>, YANG Li-Xin<sup>1,2</sup>, ZHANG Yong-Mao<sup>1\*</sup>

(1. Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hebei Provincial Key Laboratory of Food Safety Risk Monitoring, Shijiazhuang 050021, China; 2. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the residues of 6 kinds of plant growth regulators (PGRs) in soybean sprouts and mung bean sprout. **Methods** A total of 52 bean sprouts samples were sampled in 2014 from 10 main areas in Hebei province of China, and 6 kinds of plant growth regulators including 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), 2,4-D-ethyl ester, 4-chlorophenoxy acetic acid (4-CPA),  $\beta$ -naphthyl acetic acid (NAA), indole acetic acid (IAA) and indole butyric acid (IBA) were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). **Results** 12 samples were detected of 4-CPA and 33 samples were detected of IAA. IBA was found in 13 samples. In addition, 2,4-D, 2,4-D-ethyl ester and NAA were not detected in the present study. All the results were not exceeded the maximum residue limits (MRLs) of the plant growth regulators set in China. **Conclusion** The continuous monitoring and control of PGRs in bean sprouts are still necessary, which can reduce the risk from abuse of plant growth regulators.

**KEY WORDS:** plant growth regulator; soybean sprouts; mung bean sprout; residue detection

\*通讯作者: 张永茂, 副主任技师, 主要研究方向为食品安全。E-mail: 18832185618@163.com

\*Corresponding author: ZHANG Yong-Mao, Senior Technical Personnel, Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, No.97, Huai'an East Road, Shijiazhuang 050021, China. E-mail: 18832185618@163.com

## 1 引言

植物生长调节剂也被称为植物激素。它在植物生长和发育的不同阶段发挥了重要作用,它的存在可影响和有效调控植物的生长和发育,包括从细胞生长、分裂,到生根、发芽、开花、结实、成熟和脱落等一系列植物生命全过程<sup>[1]</sup>。植物体内存在微量的天然植物激素如吲哚乙酸(indole acetic acid, IAA),属于内源性激素,具有控制生长发育的作用<sup>[2,3]</sup>。然而,一些外源性植物激素包括 4-氯苯氧乙酸(4-chlorophenoxy acetic acid,4-CPA)、吲哚丁酸(indole butyric acid, IBA)、 $\beta$ -萘乙酸( $\beta$ -naphthyl acetic acid,  $\beta$ -NAA)、2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-Dichlorophenoxyacetic acid,简称 2,4-D)由于价格低廉,在豆芽生产过程中能发挥较好的植物生长调节作用,也被广泛应用。虽然国家法规明确规定 2,4-D、4-CPA 不能用于豆芽生产,也规定了一些植物生长调节剂的最大残留限(MRLs),但“无根豆芽素”和“毒豆芽”事件还是时有发生,对食品安全和人类健康构成极大的威胁<sup>[4]</sup>。近年来,蔬菜和水果中植物生长调节剂残留检测方法已日益成为世界关注的焦点<sup>[5-7]</sup>。使用高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)同时测定水果蔬菜中多种植物生长调节剂残留<sup>[8-10]</sup>,方法快速简便,定量准确,但是由于仪器成本较高,很多实验室难以普及。目前,我国鲜有对豆芽中植物生长调节剂残留分析的报道,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。

本文调查分析了河北省 10 个地区市售豆芽菜中 6 种植物生长调节剂的污染残留状况,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 仪器与试剂

QP2010-ultra 气相色谱质谱联用仪(日本岛津); TDL-5-A 型离心机(上海安亭); AE200 分析天平(瑞士 METTLER 公司); 超声波清洗器(江苏昆山市超声仪器有限公司); 漩涡混匀器、烘箱、氮吹仪(上海精科公司)。

三氟化硼甲醇溶液(上海安谱实验科技股份有限

公司); 无水硫酸钠、甲酸、盐酸、氯化钠(分析纯,北京化工厂); 乙腈、乙酸乙酯、甲醇(色谱纯,德国 Merck 公司); QuEChERS 试剂盒(货号 CLE008, 300 mg/管,杭州福裕科技服务有限公司); MCS 固相萃取柱(500 mg/6 mL, 杭州福裕科技服务有限公司)。

标准物质: 4-氯苯氧乙酸、吲哚乙酸、2,4-二氯苯氧乙酸、2,4-二氯苯氧乙酸丁酯、吲哚丁酸、萘乙酸均购自 Dr. E GmbH (Augsburg, Germany)。

### 2.2 样品采集

于 2014 年 7 月中旬对河北省 10 个区市(石家庄、衡水、邯郸、秦皇岛、廊坊、张家口、邢台、承德、沧州、唐山)在本辖区的超市、食品商店、集贸市场和农贸市场销售的豆芽菜进行抽查。共采集 21 份黄豆芽和 31 份绿豆芽样品,冰箱内冷藏储存(3~7 °C)。

### 2.3 样品前处理

称取试样 10.0 g 于 50 mL 离心管中,加入 40  $\mu$ L 甲酸,再加入 20 mL 乙腈,用漩涡混匀 1 min 左右,然后超声 30 min,超声结束冷却后 8000 r/min 离心机离心 5 min,上清液转移至新的 50 mL 离心管中,然后加入 3.0 g NaCl(使其饱和有结晶),漩涡混匀,超声 10 min,冷却后 8000 r/min 离心 5 min,吸出乙腈层,用无水  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  脱水过滤至圆底烧瓶内,用旋转蒸发仪浓缩近干,在圆底烧瓶内加入 2 mL 甲醇超声溶解。

取上述 1 mL 甲醇样液,加到 QuEChERS 试剂管中,混匀,静置 5 min,进一步混匀,然后 10000 r/min 离心 2 min,取上清液进行气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC/MS)分析测定 2,4-D-丁酯。

另外取 1 mL 甲醇样液加入 9 mL 40 mmol/L 盐酸,然后超声混匀,转移至离心管后 8000 r/min 离心 5 min,上清液待净化。先用 5 mL 甲醇、5 mL 水、5 mL 40 mmol/L 的盐酸溶液活化 MCS 柱,活化结束后上清液转移到 MCS 柱内,待样品过柱后,用 5 mL 水淋洗除杂,真空抽干柱内液体后加入 5 mL 甲醇洗脱收集于 10 mL 具塞试管内,洗脱液 50 °C 下用氮气吹干待衍生。

在试管内加入 10%三氟化硼甲醇衍生溶液,涡旋混匀,70 °C 加热衍生 30 min,取出冷却后再加入 0.5 mL 1:4 (V:V)的乙酸乙酯/正己烷混合溶液和 2 mL 纯水,涡旋混匀,4000 r/min 离心机离心 5 min,吸出

上层有机相, 转移至进样瓶中进行 GC/MS 分析。

## 2.4 气相色谱质谱条件

色谱条件: 载气:高纯氮(纯度 99.999), DB-5MS 色谱柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm), 流量: 1.0 mL/min; 进样口温度: 250 °C, 进样量: 1 μL, 不分流; 升温程序: 初始柱温: 50 °C, 保持 3 min, 以 10 °C/min 升温至 280 °C, 后运行温度 300 °C, 保持 5 min。

质谱条件: 接口温度: 280 °C; 离子源温度: 230 °C; 电离方式: 电子轰击源(EI); 监测方式: 选择离子监测(SIM)。

## 2.5 标准储备液和标准工作溶液的配制

准确称取标准品适量, 用甲醇溶解, 配制成一定浓度的标准储备液。将以上各标准储备液用自制豆芽的提取液稀释, 配成混合标准工作溶液。2,4-D 丁酯的浓度系列为 0.5、1.0、2.0、5.0、10.0 μg/mL, 4-CPA、β-NAA、2,4-D、IAA、IBA 的浓度系列为 1.0、2.0、4.0、10.0、20.0 μg/mL。

## 3 结果与讨论

### 3.1 方法的线性范围和检出限

在 2.4 的测定条件下, 对所配制的系列浓度的混合标准溶液进行测定。以目标物质的色谱峰面积对其质量浓度进行线性回归拟合(表 1), 发现 6 种目标物质在相应浓度范围内, 线性相关关系良好, 相关系数均大于 0.995。

### 3.3 回收率和精密度

在确定的实验条件下, 向自制的黄豆芽和绿豆芽样品中添加高(1 mg/kg)、中(0.1 mg/kg)、低(0.05 mg/kg)3 水平的混合标准溶液, 每个添加水平重复 3 次, 进行加标回收率和精密度的测定。结果见表 2, 加标回收率范围分别为 91.3%~104%, 85.1%~103% 和 78.7%~92.6%, 相对标准偏差(RSDs)<15%, 说明方法准确可靠, 重现性高, 方法检出限为 0.1~2.0 μg/kg。黄豆芽加标色谱图见图 1。

表 1 质谱基本参数和方法检出限、线性方程

Table 1 Parameters for the mass spectrometric detection and method detection limit and linear equation

目标物	RT(min)	定量离子(m/z)	定性离子(m/z)	回归方程	r <sup>2</sup>	LODs(μg/kg)
2,4-D-丁酯	18.05	248	175,213	Y=47268X+5349.9	0.9998	0.20
4-CPA	15.50	200	141,111,	Y=78001X+12530	0.9989	0.10
2,4-D	17.67	234	199,175	Y=65547X+17494	0.9980	0.50
β-NAA	18.49	141	115,200	Y=395739X+150394	0.9980	1.00
IAA	19.56	130	189,103	Y=71568X-15773	0.9988	2.00
IBA	21.05	130	143,186	Y=158766X+16066	0.9953	0.50

表 2 豆芽菜中 6 种植物生长调节剂加标回收结果(n=3)

Table 2 Recovery results of 6 PGRs in bean sprouts(n=3)

豆芽	目标物	加标量 0.05 mg/kg		加标量 0.1 mg/kg		加标量 1.0 mg/kg	
		回收率 (%)	RSDs (%)	回收率 (%)	RSDs (%)	回收率 (%)	RSDs (%)
黄豆芽	2,4-D-丁酯	78.7	9.4	89.5	8.6	95.3	10.1
	4-CPA	80.6	8.7	88.6	11.5	95.2	8.6
	2,4-D	81.4	10.8	94.6	5.6	102	11.1
	β-NAA	85.6	8.1	91.2	5.8	104	8.7
	IAA	80.7	9.9	85.1	8.3	99.3	6.0
	IBA	82.6	10.8	101	7.7	96.5	9.5
绿豆芽	2,4-D-丁酯	79.8	5.1	87.5	8.6	91.3	8.3
	4-CPA	89.0	5.3	101	9.3	104	9.6
	2,4-D	92.6	13.0	96.5	8.5	95.9	9.0
	β-NAA	83.8	8.3	101	10.0	98.2	4.9
	IAA	85.8	8.5	96.0	9.7	97.7	8.1
	IBA	86.1	5.9	103	9.6	99.0	10.7

### 3.4 实际样品测定

应用 GC/MS 法对 21 份黄豆芽和 31 份绿豆芽中的植物生长调节剂进行分析, 结果如表 3 所示。检测中, 4-CPA、吲哚乙酸(IAA)和吲哚乙酸(IBA)在实际样品中检出率较高, 检出率分别为 21.2%、65.4%和 25%, 检测范围分别为 0.0031~0.28 mg/kg、0.023~5.3 mg/kg、0.0017~0.094 mg/kg。其中两个样品中 IAA 的残留浓度较高, 分别为 2.6 mg/kg 和 5.3 mg/kg。目前, 我国现行的调节剂限量标准中还没有出台以上 3 种调节剂的限量规定。事实上, IAA 是一种刺激植物生长发育过程的代表性内源激素, 这也解释了它检出率较高的原因。在 9 个样品中检测到 IBA, 检测范

围为 0.0018~0.094 mg/kg。另外 3 种生长促进剂 2,4-D-丁酯,  $\beta$ -NAA 和 2,4-D 在本研究中未发现。

本研究中植物生长调节剂的检出浓度比国内其他报道稍高<sup>[11,12]</sup>。但是比吉林省市售豆芽中常见植物生长调节剂的残留结果相比稍低<sup>[13]</sup>。吉林省抽取的 14 批次豆芽样品中, 4-氯苯氧乙酸、吲哚乙酸两种调节剂均有不同程度的检出。4-CPA 检出率最高, 达 71.4%, 检出值在 0.07~0.99 mg/kg 范围内。IAA 的检出率达 21.4%, 检出值范围 0.77~40.82 mg/kg。总的来说, 本研究中所检测样品是安全的, 样品结果均未超出国家规定的植物生长调节剂的最大残留限量 (MRLs), 见表 4<sup>[14,15]</sup>。

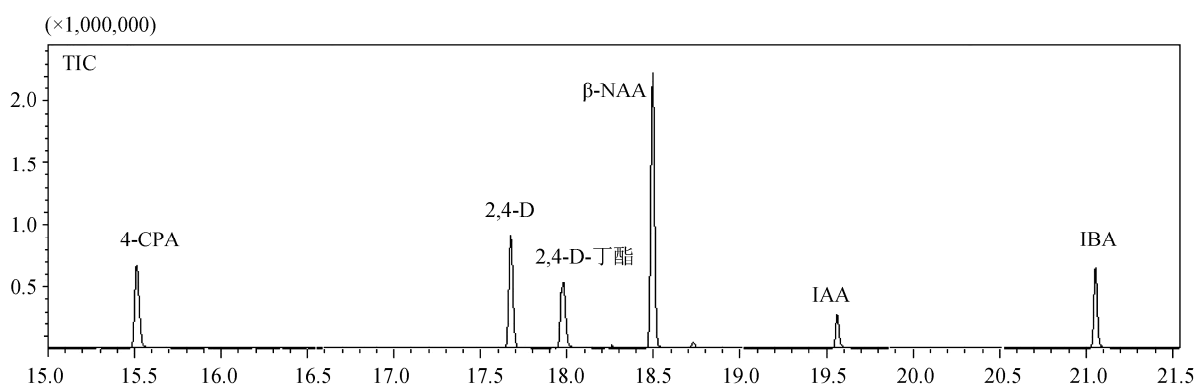


图 1 黄豆芽中植物生长调节剂加标色谱图(加标水平 0.1 mg/kg)

Fig. 1 Chromatogram of PGRs in soybean sprouts spiked at 0.1 mg/kg

表 3 实际样品检测结果(mg/kg)

Table 3 Results of PGRs in bean sprouts (mg/kg)

No	地区	豆芽	2,4-D-丁酯	4-CPA	2,4-D	$\beta$ -NAA	IAA	IBA
1	ZJK-1	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.028	<0.0005
2	ZJK-2	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.026	<0.0005
3	ZJK-3	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.088	<0.0005
4	ZJK-4	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.028	0.039
5	ZJK-5	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.095	0.055
6	HS-1	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.034	<0.0005
7	HS-2	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.031	<0.0005
8	HS-3	绿豆芽	<0.0002	0.28	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
9	HS-1	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
10	TS-2	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.025	<0.0005
11	TS-3	绿豆芽	<0.0002	0.033	<0.0005	<0.001	0.038	<0.0005

续表 3

No	地区	豆芽	2,4-D-丁酯	4-CPA	2,4-D	$\beta$ -NAA	IAA	IBA
12	TS-4	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
13	TS-5	绿豆芽	<0.0002	0.0031	<0.0005	<0.001	0.035	0.051
14	LF-1	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.063	<0.0005
15	LF-2	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.079	<0.0005
16	LF-3	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.031	<0.0005
17	CZ-1	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
18	CZ-2	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	0.033
19	CZ-3	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.035	<0.0005
20	CZ-4	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
21	CZ-5	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.063	<0.0005
22	QHD-1	黄豆芽	<0.0002	0.084	<0.0005	<0.001	0.091	0.094
23	QHD-2	黄豆芽	<0.0002	0.023	<0.0005	<0.001	0.024	<0.0005
24	CD-1	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	0.0057
25	CD-2	绿豆芽	<0.0002	0.0038	<0.0005	<0.001	0.096	<0.0005
26	CD-3	黄豆芽	<0.0002	0.12	<0.0005	<0.001	<0.002	0.0017
27	XT-1	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.068	<0.0005
28	XT-2	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
29	XT-3	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
30	XT-4	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	0.051
31	XT-5	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.029	<0.0005
32	XT-6	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	0.0025
33	HD-1	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.037	<0.0005
34	HD-2	绿豆芽	<0.0002	0.57	<0.0005	<0.001	2.67	<0.0005
35	HD-3	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
36	HD-4	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.029	0.024
37	HD-5	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.023	<0.0005
38	HD-6	绿豆芽	<0.0002	0.43	<0.0005	<0.001	5.3	<0.0005
39	SJZ-1	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.14	<0.0005
40	SJZ-2	绿豆芽	<0.0002	0.057	<0.0005	<0.001	0.77	<0.0005
41	SJZ-3	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
42	SJZ-4	绿豆芽	<0.0002	0.17	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
43	SJZ-5	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.051	<0.0005
44	SJZ-6	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.028	<0.0005
45	SJZ-7	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.046	<0.0005
46	SJZ-8	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.031	<0.0005
47	SJZ-9	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
48	SJZ-10	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	0.088
49	SJZ-11	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	<0.002	<0.0005
50	SJZ-12	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.026	0.0018
51	SJZ-13	黄豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.031	0.013
52	SJZ-14	绿豆芽	<0.0002	<0.0001	<0.0005	<0.001	0.035	<0.0005

注: SJZ 表示石家庄, HS 表示衡水, CZ 表示沧州, XT 表示邢台, CD 表示承德, HD 表示邯郸, TS 表示唐山, LF 表示廊坊, ZJK 表示张家口, QHD 表示秦皇岛。

表4 国内外调节剂残留限量统计(mg/kg)  
Table 4 Domestic and international regulator residue limits (mg/kg)

调节剂	相关产品	CAC	美国	欧盟	中国
2, 4-D	小麦	2	0.5	0.05	0.5
	大白菜	-	-	0.05	0.2
	果蔬类	-	0.1	-	0.1
NAA	水果	0.1-20	1(苹果)	-	-
	马铃薯	-	0.01	-	-

## 4 结论

生长调节剂残留是豆芽安全控制的主要对象。在本研究中,对52份豆芽菜中6种植物生长调节剂进行残留分析。本研究中的豆芽菜未超过国家规定的植物生长调节剂的最高残留限量。但是也可以观察到,植物生长调节剂是经常使用在豆芽生产过程中的,特别是4-CPA, IAA和IBA。为此,连续监测和控制豆芽中植物生长调节剂残留是非常有必要的。

## 参考文献

- [1] Wu Y, Hu B. Simultaneous determination of several phytohormones in natural coconut juice by hollow fiber-based liquid-liquid-liquid microextraction-high performance liquid chromatography [J]. *J Chromatogr A*, 2009, 1216: 7657-7663.
- [2] Chen H, Guo XF, Zhang HS, *et al.* Simultaneous determination of phytohormones containing carboxyl in crude extracts of fruit samples based on chemical derivatization by capillary electrophoresis with laser-induced fluorescence detection [J]. *J Chromatogr B*, 2011, 879: 1802-1808.
- [3] Lu Q, Chen L, Lu M, *et al.* Extraction and analysis of auxins in plants using dispersive liquid-liquid microextraction followed by high performance liquid chromatography with fluorescence detection [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58: 2763-2770.
- [4] 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.
- [5] Anagnostopoulos CJ, Liapis K, Haroutounian S, *et al.* Simultaneous determination of different classes of plant growth regulator in high water content agricultural products by liquid chromatography tandem mass spectrometry and time of flight mass spectrometry [J]. *J Liquid Chromatogr Related Technol*, 2013, 36: 315-335.
- [6] Pulgarín JAM, Bermejo LFG, Robles IS, *et al.* Simultaneous determination of plant growth regulators 1-naphthylacetic acid and 2-naphthoxyacetic acid in fruit and vegetable samples by room temperature phosphorescence [J]. *Phytochem Anal*, 2012, 23(3): 214-221.
- [7] Flores MIA, Romero-González R, Frenich AG, *et al.* QuEChERS-based extraction procedure for multifamily analysis of phytohormones in vegetables by UHPLC-MS/MS [J]. *J Separ Sci*, 2011, 34: 1517-152.
- [8] 黄何何, 张缙, 徐敦明, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法同时测定水果中21种植物生长调节剂的残留量[J]. *色谱*, 2014, 7: 707-716.
- [9] 黄何何, 徐敦明, 周昱, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定水果中多种天然植物生长调节剂的残留量[J]. *食品质量安全检测学报*, 2014, 5(4): 1133-1141.
- [10] 牟艳莉, 郭德华, 丁卓平. 高效液相色谱-串联质谱法检测瓜果中的4种植物生长调节剂的残留量[J]. *色谱*, 2013, 31(10): 1016-1020.
- [11] 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 Anal Methods*, 2013, 6(3): 941-951.
- [12] 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.
- [13] Huang HH, Zhang J, Xu DM, *et al.* Determination of 21 kinds of plant growth regulator residues in fruits by quechers-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2014, 7: 707-716.
- [14] Huang HH, Xu DM, Zhou Y, *et al.* Determination of several natural plant growth regulator residues in fruits by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(4): 1133-1141.
- [15] Mou YL, Guo DH, Ding ZP. Determination of four plant growth regulator residues in amphisarcas by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2013, 31(10): 1016-1020.
- [16] 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.
- [13] 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 Veget*, 2014, 12: 54–55.
- [14] 朱杰丽, 杨柳, 柴振林, 等. 国内外植物生长调节剂限量标准分析研究[J]. *生物灾害科学*, 2013, 36(2): 232–237.
- Zhu JL, Yang L, Chai ZL, *et al.* Analysis of maximum permissible concentration of plant growth regulators [J]. *Biol Dis Sci*, 2013, 36(2): 232–237.
- [15] 金芬, 邵华, 杨锚, 等. 国内外几种主要植物生长调节剂残留限量标准比较分析[J]. *农业质量标准*, 2007, 6: 26–27.
- Jin F, Shao H, Yang M, *et al.* Comparative analysis of residual

limits of several major plant growth regulators [J]. *Agric Qual Standards*, 2007, 6: 26–27.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



刘印平, 硕士, 中级技师, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: liuyinping1983@163.com



张永茂, 副主任技师, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: 18832185618@163.com