

高效液相色谱法同时测定果蔬中6种植物激素的残留

王 杏, 周小倩, 刘 超, 黄 容, 邓樱花*

(湖北第二师范学院化学与生命科学学院, 武汉 430205)

摘 要: 目的 建立一种可同时测定水果蔬菜中的6种植物激素(玉米素、吲哚乙酸、6-苄基腺嘌呤、脱落酸、吲哚丁酸和 α -萘乙酸)残留的高效液相色谱方法。**方法** 将果蔬样品中的植物激素用80%甲醇提取,对变波长高效液相色谱法的检测条件进行优化,优化的色谱条件为: Agilent ZORBAX Eclipse Plus C₁₈ (150 mm×4.6 mm, 5 μ m)反相色谱柱,流动相 A 为甲醇,流动相 B 为磷酸-氢氧化钠缓冲溶液(0.1 mol/L, pH=3.0),流速为 1.0 mL/min,等度洗脱、变波长检测。采用该方法进行精密度和加标回收率实验。**结果** 对4种果蔬样品进行了精密度和加标实验,6种植物激素的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为0.21%~8.90%,回收率为73.84%~128.40%,最低检出限为1.4 ng/mL。**结论** 该方法操作简单、精确可靠、重复性好,适合测定果蔬中6种植物激素的残留。

关键词: 植物激素; 高效液相色谱法; 残留; 果蔬

Determination of 6 kinds of plant hormones residues in fruits and vegetables by high performance liquid chromatography

WANG Xing, ZHOU Xiao-Qian, LIU Chao, HUANG Rong, DENG Ying-Hua*

(Department of Chemistry and Life Science, Hubei University of Education, Wuhan 430205, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for simultaneous determination of 6 kinds of plant hormones (including zeatin, indole acetic acid, 6-benzyl adenine, abscisic acid, indole butyric acid and α -naphthyl acetic acid) residues in fruits and vegetables by high performance liquid chromatography (HPLC). **Methods** The plant hormones in fruit and vegetable samples were extracted with 80% methanol solution. The detection conditions of the HPLC method with variable wavelength detector were optimized. The reversed phase column was Agilent ZORBAX Eclipse Plus C₁₈ (150 mm×4.6 mm, 5 μ m). The mobile phase consisted of solution A was methanol and solution B was phosphate-sodium hydroxide buffer (0.1 mol/L, pH 3.0) with isocratic elution and variable wavelength detection. The flow rate was 1.0 mL/min. The recoveries of standard addition and the precision were also tested. **Results** Precision and recoveries experiments were conducted on 4 fruit and vegetable samples. The relative standard deviations (RSDs) of 6 kinds of plant hormones were 0.21%-8.90%, and the average recoveries 73.84%~128.40%. The limits of detection for the 6 kinds of plant hormones were 1.4 ng/mL. **Conclusion** This method is easy, accurate, reliable and

基金项目: 湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划项目(T201718)

Fund: Supported by the College Outstanding Young Scientific and Technological Innovation Team of Hubei Province (T201718)

*通讯作者: 邓樱花, 教授, 主要研究方向为食品安全与营养。E-mail: dengyinghua@hue.edu.cn

*Corresponding author: DENG Ying-Hua, Professor, Department of Chemistry and Life Science, Hubei University of Education, Wuhan 430205, China. E-mail: dengyinghua@hue.edu.cn

reproducible, which is suitable for detecting the plant hormones residues in fruits and vegetables samples.

KEY WORDS: plant hormones; high performance liquid chromatography; residues; fruits and vegetables

1 引言

植物激素是由植物自身代谢而产生的一类小分子有机化合物, 也称植物内源激素, 具有高度的活性; 由人工合成的称之为外源植物激素, 也称植物生长调节剂。这些植物激素在植物体内含量极少, 却对植物的生长发育和代谢起着重要的调控作用^[1,2]。但由于植物激素在蔬菜生产过程中使用不当甚至滥用, 导致由其引发的食品安全问题频发, 如“顶花带刺”黄瓜和久存不坏的番茄等就引起社会的广泛关注^[3]。因此, 建立一种灵敏度高、专一性强、操作简便的测定植物激素的分析方法, 对于食品安全具有重要的意义。

目前, 植物激素的检测方法主要有酶联免疫法^[4,5]、高效液相色谱法 (high performance liquid chromatography, HPLC)^[6-8]、液相色谱-质谱联用法^[9,10]、气相色谱法^[11]、气相色谱-质谱联用法^[12,13]等。2017 年, 刘婷等^[14]建立了固相萃取-高效液相色谱法同时测定植物根际促生菌发酵产物中吲哚-3-乙酸、赤霉素和玉米素 3 种植物激素含量的方法。该方法有良好的精密度和准确度, 检出限低, 可以为丰富菌种资源库和研制微生物菌肥提供了理论依据。2018 年, 李华等^[15]以 3 倍体枇杷花和幼果为研究材料, 建立了一套可同时分离和测定 10 种植物激素的方法。植物激素的线性相关系数在 0.9915 以上, 加标回收率在 58.6%~85.2% 之间, 检出限在 0.004~4.92 ng 之间, 精密度在 0.026%~3.05% 之间。该方法可用于植物中多种激素的同时测定。

高效液相色谱法专一性强、灵敏度高和重现性好, 目前已被广泛应用于植物激素的测定。本研究采用高效液相色谱分离, 变波长检测的方法对 4 种常见的水果和蔬菜中 6 种植物激素同时进行分析测定, 旨在建立一种高效、灵敏、可行的检测分析方法, 可应用于农产品安全行业, 加强对植物生长调节剂施用情况和残留进行检测, 同时建立的分析方法可提供给相关部门用于对农产品、食品的质量监控。

2 材料与方 法

2.1 仪器与试剂

1260 液相色谱 (美国 Agilent 公司); 5810R 离心机 (德国 Eppendorf 公司); FiveEasy Plus pH 计 (瑞士梅特勒-托利多公司); ME104E 电子天平 (瑞士梅特勒-托利多公司); R-210 旋转蒸发器 (瑞士 BUCHI 公司)。

甲醇 (色谱纯, 德国 Fisher 公司); 玉米素、吲哚乙酸、6-苄基腺嘌呤、脱落酸、吲哚丁酸和 α -萘乙酸 (纯度 98%, 美国 Sigma-aldrich 公司); 磷酸、盐酸、乙酸乙酯和石油醚 (分析纯, 国药集团试剂有限公司); 0.22 μm 疏水性 PTFE 针式滤器 (上海安谱公司); 实验室用水为 Milli-Q 超纯水。

本研究用于分析测定的水果蔬菜样品 (西瓜、苹果、西红柿和黄瓜) 均购自于当地超市。

2.2 实验方法

2.2.1 标准溶液配制

植物激素标准溶液配制: 分别准确称取玉米素 (zeatin, ZT)、吲哚乙酸 (indole acetic acid, IAA)、6-苄基腺嘌呤 (6-benzyl adenine, 6-BA)、脱落酸 (abscisic acid, ABA)、吲哚丁酸 (indole butyric acid, IBA) 和 α -萘乙酸 (α -naphthyl acetic acid, NAA) 标准品各 0.005 g, 用甲醇溶解并定容至 10 mL, 充分摇匀, 配制成浓度均为 500 mg/L 的标准储备液, 低温避光保存, 逐级稀释制备成所需系列标准溶液, 现用现配。

2.2.2 样品前处理

参考文献^[16]的样品处理方法, 将购买的样品洗净, 用滤纸吸干, 去皮后, 准确称取果肉 20.0 g, 切碎后将样品研磨成匀浆, 加入 60 mL 预冷 ($<0\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的 80% 甲醇溶液, 匀浆液在常温下 (不超过 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) 超声振荡 30 min, 然后在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、4000 r/min 的条件下离心 15 min。残渣再用 20 mL 80% 甲醇洗涤、振荡, 离心 5 min, 反复操作 3 次, 滤液混合。将滤液在旋转蒸发器上减压浓缩 ($38\text{ }^{\circ}\text{C}$) 至原体积一半, 再加入等体积石油醚提取部分色素, 提取 2~3 次, 弃掉石油醚层, 将下层液体继续减压蒸发浓缩至水溶液, 在此水溶液中含有植物激素。

将减压浓缩后的水溶液用 2.0 mol/L HCl 调 pH 至 2.5~2.9, 溶液转入的分液漏斗, 加入相同体积的乙酸乙酯萃取 2~3 次, 合并上层乙酸乙酯相, 植物激素存在于乙酸乙酯溶液中。将乙酸乙酯相在旋转蒸发器上减压蒸发 ($38\text{ }^{\circ}\text{C}$) 至干, 用甲醇溶解定容至 5 mL, 过 0.22 μm 滤膜, HPLC 进样分析。

2.2.3 液相色谱条件

Agilent ZORBAX Eclipse Plus C_{18} 色谱柱 (150 mm \times 4.6 mm, 5 μm); 流动相: 甲醇 (A): 磷酸-氢氧化钠缓冲溶液 (0.1 mol/L, pH=3.0) (B)=35:65 (V/V), 等度洗脱; 流速: 1.0 mL/min; 进样体积: 10 μL ; 柱温: $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。检测波长: 采用变波长分段检测, 0.0~5.0 min, 205 nm; 5.0~10.0 min, 220 nm; 10.0~15.0 min, 205 nm; 15.0~20.0 min, 270 nm; 20.0~35.0 min, 220 nm。

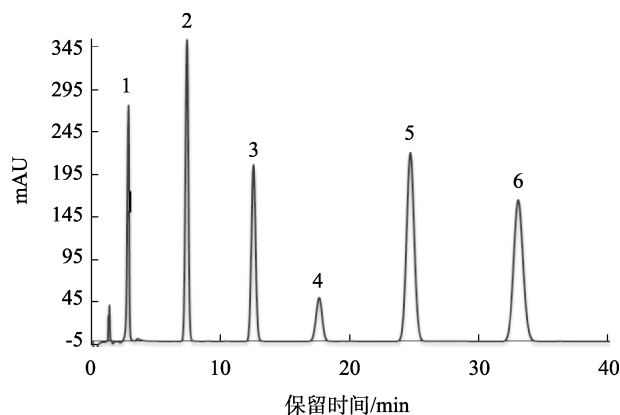
3 结果与分析

3.1 色谱条件优化

3.1.1 流动相的选择

采用甲醇-水作为流动相,考察了流动相对分离的影响。结果表明:6种植物激素混合标准样品不能完全分离,色谱峰拖尾严重,且峰形很差;加入一定量的磷酸盐可改善拖尾现象。实验显示,甲醇-磷酸盐溶液体积比大于38:62(V/V),玉米素和杂质峰不能完全分开;其体积比小于35:65(V/V),各激素虽能完全分开,但各峰保留时间过长。因此,流动相中甲醇比例不能小于35%。此外,对磷酸-氢氧化钠缓冲溶液的pH值(2.5、3.0、3.5、4.0和4.5)进行考察,发现随着pH值增大,分离时间缩短,当pH值为2.5的时候,IAA和6-BA不能达到基线分离;当pH值大于3.0的时候,出现基线漂移的现象;pH值为3.0时分离效果最佳,既能保证6种植物激素混合标样的基线分离,改善拖尾现象,也可避免流动相酸度过大而损坏色谱柱。

实验考察了梯度洗脱模式,结果表明梯度洗脱可以适当缩短样品的分析时间,但它本身也存在一定的问题,主要是基线漂移较严重,尤其在测定实际样品的时候。基线漂移是由于流动相中各溶剂的折射率和光吸收性质的差异所引起的^[17,18]。为了减小基线漂移的影响,本研究最终选择了等度洗脱模式,流动相组成是35%甲醇,65%磷酸-氢氧化钠缓冲溶液(0.1 mol/L, pH=3.0)。图1是6种植物激素标准溶液的色谱图。



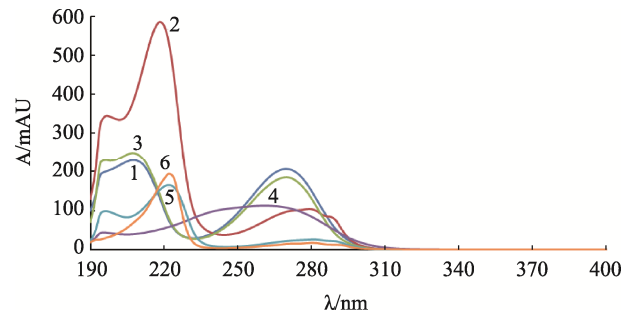
注: 1: 玉米素; 2: 吲哚乙酸; 3: 6-苄基腺嘌呤; 4: 脱落酸;
5: 吲哚丁酸; 6: α -萘乙酸。

图1 6种植物激素标准溶液色谱图

Fig. 1 Chromatograms of 6 kinds of plant hormones standards mixture

3.1.2 检测波长的选择

在190~400 nm紫外波长范围内对这6种植物激素的标准溶液进行波长扫描,结果如图2所示。从图2可见:ZT和6-BA的最大紫外吸收波长为205 nm;IAA、IBA和NAA的最大吸收波长为220 nm;ABA的最大吸收波长为270 nm。



注: 1: 玉米素; 2: 吲哚乙酸; 3: 6-苄基腺嘌呤; 4: 脱落酸;
5: 吲哚丁酸; 6: α -萘乙酸。

图2 6种植物激素紫外吸收光谱图

Fig. 2 Ultraviolet absorption spectrum of 6 kinds of plant hormones

为使6种化合物均有较强的响应,采用5段波长变换检测,即0.0~5.0 min, 205 nm; 5.0~10.0 min, 220 nm; 10.0~15.0 min, 205 nm; 15.0~20.0 min, 270 nm; 20.0~35.0 min, 220 nm。结果表明各化合物响应值较高,并且仪器的重现性较好。

3.2 方法的线性范围及检出限

配制上述6种植物激素的一系列混合标准溶液,在确定的最佳色谱条件下进样分析。以各化合物浓度($\mu\text{g/mL}$)为横坐标X,峰面积($\text{mV}\cdot\text{s}$)为纵坐标Y,6种化合物的线性方程、线性范围、相关系数、日内精密度、日间精密度和检出限(limit of detection, LOD, $S/N=3$)见表1。

表1 6种植物激素的线性方程、线性范围、精密度和检出限
Table 1 Regression equations, linear ranges, precision and detection limits for 6 kind of plant hormones

植物激素	线性方程	线性范围 /($\mu\text{g/mL}$)	相关系数 (r^2)	精密度(%, $n=5$)		检出限 /(ng/mL)
				日内	日间	
ZT	$Y=78.076X-2.701$	0.25~40	0.9993	0.32	2.49	1.4
IAA	$Y=70.734X-9.2406$	0.5~80	0.9984	0.22	1.94	5
6-BA	$Y=58.903X-20.984$	0.5~80	0.9980	0.37	2.26	25
ABA	$Y=30.812X-2.9258$	0.5~80	0.9992	0.25	1.98	30
IBA	$Y=87.261X-12.986$	0.5~80	0.9989	0.21	2.02	3
NAA	$Y=272.73X-0.9359$	0.25~40	0.9995	0.19	2.05	1.5

从表1可见,6种植物激素在线性范围内线性关系良好,相关系数不低于0.9980,日内精密度小于0.4%,日间精密度小于2.5%,检出限在1.4~30 ng/mL 之间。说明本研究重复性很好,检出限较低,其精密度和灵敏度都满足分析要求。

3.3 回收率及精密度实验

4种果蔬样品按照2.2.2方法处理后,加入不同浓度的标准溶液,平行测定5次,进行加标回收率和精密度的测定。结果见表2,加标回收率范围为73.84%~128.40%,

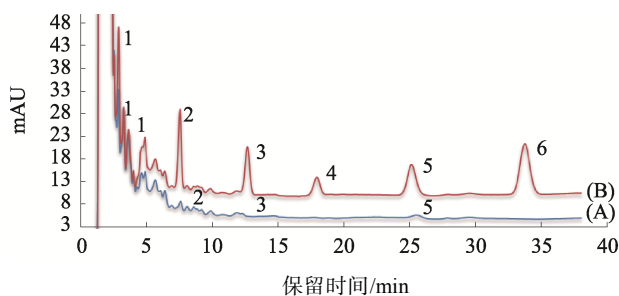
表 2 6 种植物激素的回收率及相对标准偏差(n=5)
Table 2 Recoveries and relative standard deviations of 6 kinds of plant hormones (n=5)

植物激素	西瓜				苹果				西红柿				黄瓜			
	加标值 /($\mu\text{g/mL}$)	检测值 /($\mu\text{g/mL}$)	回收率 /%	RSD /%	加标值 /($\mu\text{g/mL}$)	检测值 /($\mu\text{g/mL}$)	回收率 /%	RSD /%	加标值 /($\mu\text{g/mL}$)	检测值 /($\mu\text{g/mL}$)	回收率 /%	RSD /%	加标值 /($\mu\text{g/mL}$)	检测值 /($\mu\text{g/mL}$)	回收率 /%	RSD /%
ZT	2.5	3.94	93.52	6.67	2.5	2.60	73.84	4.82	2.5	2.43	77.76	2.29	2.5	3.27	103.68	1.52
	5.0	7.06	109.12	0.58	5.0	6.25	109.86	0.92	5.0	4.58	81.94	1.35	5.0	6.62	118.84	1.18
IAA	5.0	4.23	76.26	5.28	5.0	6.07	121.40	2.57	5.0	4.78	84.62	5.62	5.0	6.12	118.80	0.85
	10.0	8.13	77.11	8.90	10.0	11.68	116.80	0.30	10.0	11.30	107.53	2.84	10.0	10.56	103.85	0.83
6-BA	5.0	5.45	92.22	3.54	5.0	6.86	126.32	3.74	5.0	5.04	83.02	7.55	5.0	5.69	113.80	0.77
	10.0	9.46	86.21	0.86	10.0	11.10	105.49	0.68	10.0	12.74	118.51	2.69	10.0	12.80	128.00	0.89
ABA	5.0	5.59	99.30	8.34	5.0	6.42	128.40	3.37	5.0	4.62	92.40	2.04	5.0	6.10	110.88	1.07
	10.0	9.60	89.78	1.47	10.0	11.81	118.10	0.47	10.0	11.86	118.60	4.05	10.0	10.67	101.14	1.98
IBA	5.0	4.91	98.26	8.68	5.0	6.40	128.00	2.65	5.0	4.92	98.32	4.43	5.0	4.36	87.18	0.86
	10.0	9.66	96.60	5.47	10.0	10.48	104.80	0.29	10.0	12.52	125.20	0.93	10.0	8.69	86.85	1.18
NAA	2.5	2.32	92.81	4.81	2.5	2.31	92.40	1.98	2.5	2.26	90.28	1.31	2.5	2.66	106.24	0.21
	5.0	4.37	87.34	0.40	5.0	5.53	110.60	0.49	5.0	5.67	113.38	0.74	5.0	6.32	126.39	0.49

相对标准偏差 (relative standard deviations, RSDs) 为 0.21%~8.90%, 说明方法准确可靠, 重现性好。

3.4 实际样品的测定

采用本方法对西瓜、苹果、西红柿和黄瓜中的 6 种植物激素进行检测, 检测结果如表 3 所示。以西红柿为例, 样品色谱图见图 3。从表 3 中, 在这 4 种样品中均含有一定量的 ZT, 其中西红柿中最少, 西瓜中最多; 在这 4 种样品中都没有检测到 NAA; 只有在西红柿中检测到一定量的 IBA。另外, 西瓜中还检测到一定量的 IAA、6-BA 和 ABA; 苹果中还检测到一定量的 6-BA; 西红柿中还检测到一定量的 IAA 和 6-BA; 黄瓜中还检测到一定量的 IAA 和 ABA。这些结果与文献报道相符^[19-21]。



注: 1: 玉米素; 2: 吲哚乙酸; 3: 6-苄基腺嘌呤; 4: 脱落酸; 5: 吲哚丁酸; 6: α -萘乙酸。

图 3 西红柿样品(A) 和西红柿加标样品色谱图(B)

Fig. 3 Chromatograms of the tomato sample (A) and the spiked tomato sample (B)

表 3 水果蔬菜中 6 种植物激素检测结果
Table 3 Test results for six plant hormones in fruits and vegetables

样品	ZT /($\mu\text{g/g}$)	IAA /($\mu\text{g/g}$)	6-BA /($\mu\text{g/g}$)	ABA /($\mu\text{g/g}$)	IBA /($\mu\text{g/g}$)	NAA /($\mu\text{g/g}$)
西瓜	0.501	0.083	0.168	0.125	ND	ND
苹果	0.211	ND	0.110	ND	ND	ND
西红柿	0.0966	0.110	0.178	ND	0.125	ND
黄瓜	0.136	0.036	ND	0.111	ND	ND

注: ND: 未检出。

4 结 论

本研究通过优化高效液相色谱条件, 建立了变波长检测 6 种植物激素的分析方法, 该方法能够对植物激素进行准确的定性和定量, 实现了 4 种常见果蔬样品中 6 种植物激素残留的同时分析检测。该方法具有简单、灵敏度高、精密度好、线性关系良好等优点, 在检测日常食品中植物激素残留方面具有一定的应用前景。

参考文献

[1] 邵莉楣, 郝丽斌. 植物激素[M]. 北京: 人民教育出版社, 1986.
Shao LM, Hao NB. Plant hormones [M]. Beijing: People's Education Press, 1986.

[2] 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]. J Food Saf Qual, 2016, 7(1):

- 8-13.
- [3] 兰珊珊, 林涛, 沙凌杰, 等. 蔬菜中植物生长调节剂残留的膳食暴露与风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(12): 4942-4948.
Lan SS, Lin T, Sha LJ, *et al.* Dietary exposure and risk assessment of plant growth regulator residues in vegetables [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(12): 4942-4948.
- [4] 李莉, 田士林. 酶联免疫(ELISA)分析晋麦叶片中脱落酸的含量[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(23): 7098-7099.
Li L, Tian SL. Analysis on the ABA content of jinmai leaves by ELISA [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2007, 35(23): 7098-7099.
- [5] Pantaleón CS, Mercader JV, Agullo A, *et al.* Hapten synthesis and polyclonal antibody-based immunoassay development for the analysis of for chlorfenuron in kiwifruit [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58(15): 8502-8511.
- [6] 周艳明, 忻雪. 高效液相色谱法测定果蔬中7种植物激素的残留量[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 301-304.
Zhou YM, Xin X. Determination of plant hormone residues in vegetables and fruits by high performance liquid chromatography [J]. *Food Sci*, 2010, 31(18): 301-304.
- [7] 陆益民, 易国斌, 陈创彬, 等. 西瓜中4种植物生长调节剂残留的分析方法研究[J]. 分析测试学报, 2011, 30(2): 186-189.
Lu YM, Yi GB, Chen CB, *et al.* Study on method of determination of four plant growth regulator residues in watermelons [J]. *J Instrum Anal*, 2011, 30(2): 186-189.
- [8] 范光宇, 刘颖慧, 赵治海, 等. 高效液相色谱法测定谷子叶尖组织中4种植物激素[J]. 河北农业大学学报, 2015, 38(1): 25-28.
Fan GY, Liu YH, Zhao ZH, *et al.* Detection of four plant hormones in foxtail millet leaf apex by HPLC [J]. *J Hebei Agric Univ*, 2015, 38(1): 25-28.
- [9] 曹慧, 陈小珍, 王瑾. 超高效液相色谱-串联质谱技术同时分析食品中多种植物激素残留[J]. 农药, 2012, 51(10): 738-741.
Cao H, Chen XZ, Wang J. Determination of plant hormones residues in food by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Agrochemicals*, 2012, 51(10): 738-741.
- [10] 夏群, 辛培勇, 褚金芳. 全自动在线固相萃取-液相色谱-串联质谱法同时检测水稻中6种内源性植物激素[J]. 分析化学, 2016, 44(3): 409-415.
Xia Q, Xin PY, Chu JF. An automated on-line solid phase extraction-liquid chromatography-tandem mass spectrometric method for six endogenous phytohormones analysis in rice [J]. *Chin J Anal Chem*, 2016, 44(3): 409-415.
- [11] 丁杰, 秦宏伟, 郑利英, 等. 气相色谱法测定丝瓜种子萌发时内源乙烯释放速率[J]. 光谱实验室, 2013, 30(6): 3032-3035.
Ding J, Qin GW, Zheng LY, *et al.* Determination of ethylene release rate in *L.cylindrica* seeds during germination by gas chromatography [J]. *Chin J Spec Lab*, 2013, 30(6): 3032-3035.
- [12] 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.
- [13] 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]. *J Food Ind*, 2017, 38(3): 265-268.
- [14] 刘婷, 姚拓, 陈建纲, 等. 固相萃取-高效液相色谱法测定植物根际促生菌发酵产物中3种植物激素的含量[J]. 分析科学学报, 2017, 33(2): 201-206.
Liu T, Yao T, Chen JG, *et al.* Determination of plant hormones in bacterial fermentation products of plant growth promoting rhizobacteria by solid phase extraction-high performance liquid chromatography [J]. *J Anal Sci*, 2017, 33(2): 201-206.
- [15] 李华, 郭启高, 梁国鲁, 等. 利用高效液相色谱法同时测定枇杷果实中10种植物激素[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(3): 18-25.
Li H, Guo QG, Liang GL, *et al.* Simultaneous analysis of ten plant hormones in loquat fruitlet by high-performance liquid chromatography [J]. *J Southwest Univ (Nat Sci Ed)*, 2018, 40(3): 18-25.
- [16] 刘涛. 柑桔贮藏过程中植物内源激素以及理化性质的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
Liu T. Study on the plant endogenous hormones and physiological-biochemical mechanism of citrus during storage [D]. Chongqing: Southwest University, 2010.
- [17] 徐爱军, 高桂枝, 汤莉莉. 梯度洗脱测定植物源调节剂中内源激素方法探讨[J]. 分析实验室, 2007, (9): 51-55.
Xu AJ, Gao GZ, Tang LL. Study on the determination of intrinsic hormones in plant growth regulator from plants by HPLC with gradient elution [J]. *Chin J Anal Lab*, 2007, (9): 51-55.
- [18] 朱彭龄. 梯度洗脱[J]. 分析测试技术与仪器, 2000, (4): 193-199.
Zhu PL. Gradient elution [J]. *J Anal Test Technol Instrum*, 2000, (4): 193-199.
- [19] 闫国华, 甘立军, 孙瑞红, 等. 赤霉素和细胞分裂素调控苹果果实早期生长发育机理的研究[J]. 园艺学报, 2000, 27(1): 11-16.
Yan GH, Gan LJ, Sun RH, *et al.* A study on the mechanisms of exo-gibberlins and cytokinins in the growth regulation of young apple fruit [J]. *J Acta Horti Sin*, 2000, 27(1): 11-16.
- [20] 张莹, 鹿毅, 杨涛, 等. 高效液相色谱法测定果蔬中八种植物生长促进剂残留[J]. 分析科学学报, 2012, 28(5): 629-633.
Zhang Y, Lu Y, Yang T, *et al.* Determination of eight plant growth regulators in fruits and vegetables by high performance liquid chromatography [J]. *J Anal Sci*, 2012, 28(5): 629-633.
- [21] 豆峻岭, 刘文革, 赵胜杰, 等. 西瓜果实不同发育时期内源激素含量的变化[J]. 中国瓜菜, 2014, 27(2): 12-15.
Dou JL, Liu WG, Zhao SJ, *et al.* Change of endogenous hormone content during watermelon fruit development [J]. *China Cucurbit Veg*, 2014, 27(2): 12-15.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



王 杏, 主要研究方向为食品安全与营养。

E-mail: chujian_wx@163.com



邓樱花, 教授, 主要研究方向为食品安全与营养。

E-mail: dengyinghua@hue.edu.cn