

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

吴平谷* 谭莹 张晶 王立媛 汤鋈 姜维
潘晓东 马冰洁 倪竹南 王天娇

(浙江省疾病预防控制中心, 杭州 310051)

摘要 建立了豆芽10种植物生长调节剂的分级净化体系,采用气相色谱质谱法(GC/MS)对该体系的效果进行了评价。豆芽先用酸性乙腈提取,浓缩后用甲醇复溶,部分经QuEChERS试剂盒净化后用GC/MS分析2,4-D-乙酯、2,4-D-丁酯。另一部分经MCS固相萃取柱净化,先用5 mL甲醇洗脱得组分1,再用5%氯化甲醇洗脱得组分2;组分1浓缩后用10%三氟化硼甲醇溶液甲酯化,提取后GC/MS测定4-氯苯氧乙酸、 α -萘乙酸、2,4-二氯苯氧乙酸、吲哚乙酸、吲哚丁酸;组分2浓缩后用GC/MS测定多效唑、激动素、6-苄基腺嘌呤。采用此净化体系可以对不同性质的植物生长调节剂进行有效净化。结果表明,本方法完全可以用于豆芽中10种植物生长调节剂残留的检测,在豆芽中的添加0.01~0.1 mg/kg,10种植物生长调节剂平均回收率范围为70.5%~93.2%,RSD为5.2%~12.3%,本方法对10种植物生长调节剂的定量限($S/N \geq 10$)为0.01~0.025 mg/kg,检出限($S/N \geq 3$)为0.003~0.008 mg/kg。此净化体系简便、快速、准确,结合GC/MS可以满足豆芽中植物生长调节剂多残留检测要求。

关键词 豆芽;植物生长调节剂;分级净化;气相色谱-质谱法

1 引言

我国豆芽以作坊式生产为主,在豆芽生产过程中肆意添加植物生长调节剂催发豆芽生长常有发生,添加的植物生长调节剂主要有2,4-D-乙酯、2,4-D-丁酯、4-氯苯氧乙酸(CPA)、6-苄基腺嘌呤(6-BA)、2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-D)、 β -萘乙酸、吲哚乙酸、吲哚丁酸、多效唑、激动素等^[1,2]。国家法规明确规定2,4-D、CPA、6-BA等不再作为食品添加剂和食品用加工助剂使用,其它植物生长调节剂也未被允许应用于豆芽生产中,因此,在生产豆芽过程中非法添加“AB粉”、“无根豆芽素”等“毒豆芽”事件时有发生。滥用的植物生长调节剂会给健康带来风险,已成为目前食品安全领域的一个重大问题^[3]。

由于植物生长调节剂种类多,化学性质差别大,且残留量低,净化、测定要求高,目前我国农药多组分分析方法一般不包含植物生长调节剂^[4],且多组分分析均依靠高尖端仪器如液相色谱-四极杆飞行时间质谱法^[5]、高效液相色谱-串联质谱法(LC/MS/MS)^[4,6~10]等。本研究针对豆芽生产过程中可能使用的10种植物生长调节剂,通过加标实验,根据其化学性质进行分级净化,采用气相色谱质谱法对该净化体系的进行了评价,获得较好的净化效果,有较大实际应用价值。

2 实验部分

2.1 仪器与试剂

6890GC-5973MS 气相色谱质谱联用仪(美国Agilent公司);超声波清洗器(江苏昆山市超声仪器有限公司);旋涡混匀器、烘箱、氮吹仪(上海精科公司);冷冻离心机(德国BACKMAN公司)。

乙腈、甲酸、甲醇、氨水、三氟化硼乙醚溶液、氯化钠、无水硫酸钠均分析纯;QuEChERS试剂盒(货号CLE008,300 mg/管,杭州福裕科技服务有限公司);MCX固相萃取柱(200 mg/6 mL,WATERS公司);PCX,SLW,MCS固相萃取柱(500 mg/6 mL,杭州福裕科技服务有限公司)。

2014-02-03 收稿;2014-03-17 接受

本文系国家高新技术研究发展计划项目(No.2012AA101603);浙江省分析测试科技计划项目(No.2013C37064);浙江省卫生厅平台骨干项目(No.2013RCA009);浙江省重点科技创新团队计划资助(No.2011R50021)

* E-Mail: pgwu@cdc.zj.cn

2-*A-D*-乙酯、2-*A-D*-丁酯、CPA、 α -萘乙酸、2-*A-D*-吲哚乙酸、吲哚丁酸、多效唑、激动素、6-BA 标准品,纯度均大于99.0%,购于德国 Dr Ehrenstorfer GmbH 公司。

2.2 标准溶液及试剂配制

植物生长调节剂(10种)混合贮备液(1.0 g/L):分别称取0.025 g(精确到0.0001 g)上述植物生长调节剂标准品,用甲醇分别溶解并定容至25 mL,4℃保存。

5.0 mg/L 植物生长调节剂混合应用液:各吸取1.0 g/L 植物生长调节剂贮备液0.5 mL,用甲醇定容至100 mL,4℃保存。5%氯化甲醇:取5 mL 氨水,用甲醇定容到100 mL,现配现用。20%乙酸乙酯-正己烷混合液:吸取2 mL 乙酸乙酯和8 mL 正己烷混合而成。10%三氟化硼甲醇衍生溶液:吸取1 mL 三氟化硼乙醚溶液和9 mL 甲醇混合而成,现配现用。

2.3 提取及分级净化

2.3.1 生长调节剂提取 称取捣碎的豆芽试样10.0 g于50 mL 离心管中,加入20 mL 乙腈、40 μ L 甲酸,漩涡混匀1 min,超声提取30 min,8000 r/min 离心5 min,上清液转移至另一支50 mL 离心管中,加入3.0 g NaCl,漩涡混匀;8000 r/min 离心5 min,吸出乙腈层,用无水 Na_2SO_4 脱水后收集至圆底烧瓶内,50℃水浴真空浓缩至干,在圆底烧瓶内加入2 mL 甲醇超声溶解。

2.3.2 生长调节剂净化 取上述甲醇样液1 mL,加到QuEChERS试剂管中,混匀,静置5 min,混匀,10000 r/min 离心2 min,取上清液进行GC/MS分析测定2-*A-D*-乙酯和2-*A-D*-丁酯。另取甲醇样液1 mL,加入9 mL 40 mmol/L HCl,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 HCl 溶液活化MCS柱,活化结束后上清液转移到MCS柱内,待样液过柱后,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,得组分1;用5 mL 5%氯化甲醇洗脱,收集于10 mL 具塞试管内,得组分2,洗脱液分别50℃下用氮气吹干。组分2用0.5 mL 甲醇溶解后进行GC/MS分析,测定多效唑、激动素、6-BA。

2.3.3 衍生化 组分1加入1 mL 10%三氟化硼甲醇衍生溶液,漩涡混匀,70℃加热衍生30 min,取出冷却后再加入1.0 mL 20%乙酸乙酯-正己烷混合液和2 mL 纯水,漩涡混匀,4000 r/min 离心5 min,吸出上层有机相,转移至进样瓶中进行GC/MS分析。分别吸取5.0 mg/L 植物生长调节剂混合应用液0.05,0.1,0.2,0.4和1.0 mL,以甲醇定容至1.0 mL,与样品一起进行衍生测定,绘制含量(0.25,0.5,1.0,2.0和5.0 mg/L)与响应面积标准曲线。

2.4 色谱和质谱条件

DB-5MS 毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m);进样口温度:260℃;柱温:初温80℃,保持1 min,以10℃/min 升至290℃,300℃后运行2 min;载气:氦气,纯度 $\geq$ 99.999%,流速1 mL/min;进样量:1 μ L;电离方式:EI源,70 eV;离子源温度:230℃;进样方式:不分流进样;监测方式:扫描范围 m/z 35~450。

3 结果与讨论

3.1 生长调节剂提取

豆芽中植物生长调节剂多残留测定提取溶剂主要有甲醇、乙腈,考虑乙腈提取可与目前国家标准方法提取溶剂相一致^[4],本方法优先选择乙腈作为提取溶剂,本研究的5种植物生长调节剂含羧基,为了提高提取率,在乙腈中适当添加甲酸可以明显改善植物生长调节剂的提取效率。实验表明,不加甲酸10种植物生长调节剂平均回收率为64.6%~92.3%($n=3$),添加甲酸的乙腈可以增加带羧基植物生长调节剂的提取率,10种植物生长调节剂回收率在83.2%~94.2%之间($n=3$),满足豆芽中植物生长调节剂提取要求。

3.2 样品分级净化

本方法研究10种植物生长调节剂按照其化学结构式,在酸性条件下可以分成两类,一类是中性的,如2-*A-D*-乙酯、2-*A-D*-丁酯、CPA、 β -萘乙酸、2-*A-D*-吲哚乙酸、吲哚丁酸;另一类碱性带正离子,如多效唑、激动素、6-BA。中性化合物中2-*A-D*-乙酯、2-*A-D*-丁酯,可以直接用GC/MS测定。CPA、 β -萘乙酸、

2, 4-*D*、吲哚乙酸和吲哚丁酸 5 种植物生长调节剂需要衍生后测定。本方法采用三氟化硼甲醇甲酯化衍生, 改善了峰形、提高了检测灵敏度; 碱性化合物多效唑、激动素、6-BA 可以直接进行 GC/MS 分析。

3.2.1 QuEChERS 净化 QuEChERS 技术^[10, 11]具有试剂用量少、快速等优点, 克服了凝胶色谱和固相萃取试剂用量大的缺点, 已经广泛应用于植物样品中农药残留的测定。豆芽中干扰物质主要有色素、脂肪及脂肪酸、嘌呤等, 选择含 C₁₈、石墨化碳黑和 PSA 填料的试剂盒, 可以除去豆芽提取物中色素、脂肪酸等, 而 2, 4-*D*-乙酯、2, 4-*D*-丁酯不被填料吸附, 豆芽加标测定图谱见图 1。

3.2.2 固相萃取分级净化 牟艳利等^[8]采用 MAX 混合型阴离子固相萃取柱结合 LC/MS 净化测定瓜果中 7 种酸性植物生长调节剂; 赵延胜等^[11]采用不同溶剂萃取建立食品中 46 种禁限用合成色素的分级提取净化体系; 本研究组曾采用 SLW 混合型固相萃取柱建立对动物肌肉中 26 种 β_2 -兴奋剂和激素残留进行分级净化体系^[13]。由于多种植物生长调节剂测定难在同一气相色谱条件下完成测定, 本研究先将不同性质的植物生长调节剂分离后分别测定。通过豆芽加标回收实验, 比较了 MCX, PCX, SLW, MCS 等混合型阳离子固相萃取柱对上述 8 种植物生长调节剂分级净化效果。实验结果表明, MCX, PCX, SLW 对吲哚乙酸、吲哚丁酸回收率较差; 而 MCS 柱对 8 种植物生长调节剂回收率均在 80% 以上, 且除杂效果较好。用甲醇从 MCS 柱洗脱获得组分 1, 组分 1 中有 CPA、 α -萘乙酸、2, 4-*D*、吲哚乙酸、吲哚丁酸等含羧基的 5 种植物生长调节剂, 甲酯化后进行 GC/MS 分析, 样品加标总离子流图见图 2; 5% 氨化甲醇从 MCS 柱洗脱组分 2, 组分 2 含多效唑、激动素、6-BA 3 种植物生长调节剂, 这 3 种组分可以直接进行 GC/MS 分析, 样品加标总离子流图见图 3。

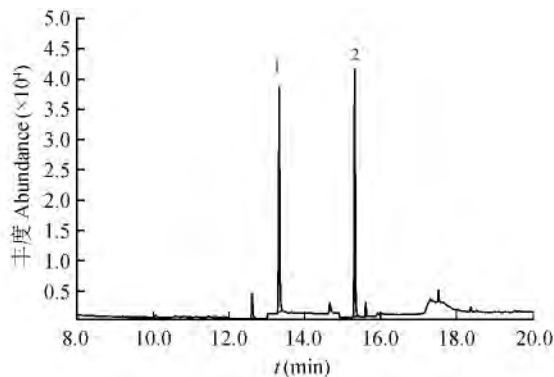


图1 豆芽加标 2, 4-*D*-乙酯、2, 4-*D*-丁酯测定总离子流图

Fig.1 Total Ion chromatogram of bean sprouts spiking 2, 4-*D*-ethyl ester and 2, 4-*D*-butyl ester

1: 2, 4-*D*-乙酯 (2, 4-*D*-ethyl ester); 2: 2, 4-*D*-丁酯 (2, 4-*D*-butyl ester)。

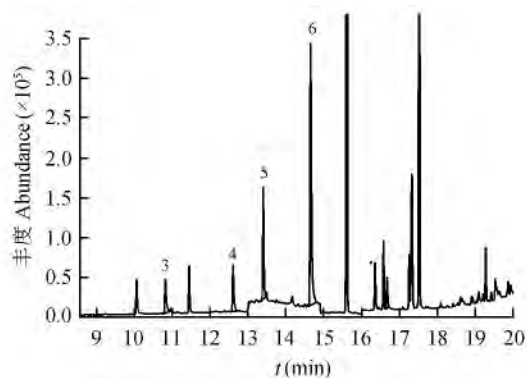


图2 组分 1 甲酯化后测定总离子流图

Fig. 2 Total Ion chromatogram of composition 1 after methyl esterification

3: 2, 4-氯苯氧乙酸 4-Chlorophenoxyacetic acid; 4: 2, 4-*D* (2, 4-Dichlorophenoxy) acetic acid; 5: β -萘乙酸 (β -naphthalene acetic acid); 6: 吲哚乙酸 (Indole acetic acid); 7: 吲哚丁酸 (Indole butyric acid)。

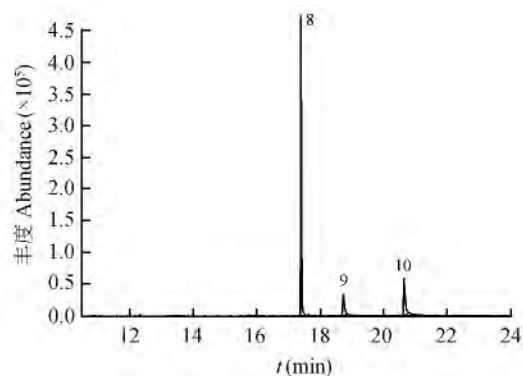


图3 组分 2 测定总离子流图

Fig.3 Total Ion chromatogram of composition 2

8: 多效唑 (Paclobutrazol); 9: 激动素 (Kinetin); 10: 6-苄基腺嘌呤 (6-Benzyl adenine)。

由图 2 和图 3 可知, 通过 MCS 柱对豆芽中 8 种植物生长调节剂进行分级净化, 采用甲醇和 5% 氨化甲醇分别洗脱不同的植物生长调节剂, 分别进行 GC/MS 分析, 可有效除去干扰物质, 满足实验要求。

3.3 气相色谱质谱条件

目前, 植物生长调节剂多组分测定多采用 LC/MS/MS 法^[4, 6~10], 其定性准确、灵敏度高, 适用极性高

的物质测定,但定量分析的基质效应明显,同样需要对样品进行合理净化,如 QuEChERS 净化、固相萃取净化,且仪器成本高,方法推广性差。GC/MS 对极性较高的物质需要进行衍生化等措施来改善化合物的性质,仪器相对便宜较为普及,本研究采用 GC/MS 来评价豆芽中10种植物生长调节剂分级净化效果。在本研究色谱条件下,采用 DB-5MS 柱,豆芽中10种植物生长调节剂均能较好分离,各化合物 GC/MS 分析条件见表1。10种植物生长调节剂在 0.025 ~ 1.0 mg/L 浓度范围内线性较好,相关系数为 0.995 ~ 0.999,最低检测浓度为 0.02 ~ 0.05 mg/L。

表1 10种植物生长调节剂标准监测离子、保留时间

Table 1 Monitoring ions, retention times for 10 plant growth regulators

组分 Component	保留时间 Retention time (min)	定性离子 Qualifier ions (<i>m/z</i>)	定量离子 Quantifier ions (<i>m/z</i>)
2 <i>A-D</i> -乙酯 2 <i>A-D</i> -ethylEster	13.32	175, 213, 250	248
2 <i>A-D</i> -丁酯 2 <i>A-D</i> -butylester	15.32	185, 220, 278	276
4-氯苯氧乙酸 4-Chlorophenoxyacetic acid, CPA	10.82	111, 141, 202	200
2,4-二氯苯氧乙酸 (2,4-Dichlorophenoxy) acetic acid, 2,4-D	12.60	175, 199, 236	234
β -萘乙酸 β -Naphthalene acetic acid	13.42	115, 200	141
吲哚乙酸 Indole acetic acid	14.67	189, 103, 77	130
吲哚丁酸 Indole butyric acid	16.69	143, 186, 217	130
多效唑 Paclobutrazol	17.45	125, 167, 238	236
激动素 Kinetin	18.74	135, 160, 186	215
6-苄基腺嘌呤 6-Benzyl adenine, 6-BA	20.66	120, 148, 106	225

3.4 方法精密度、检出限及样品测定

根据建立的方法,在豆芽中进行加标回收实验,结果见表2。由表2可知,10种植物生长调节剂在豆芽中添加 0.01 ~ 0.1 mg/kg,平均回收率为 70.5% ~ 93.2%,RSD 为 5.2% ~ 12.3%,本方法对10种植物生长调节剂的定量限为 0.01 ~ 0.025 mg/kg,根据3倍信噪比计算,检出限为 0.003 ~ 0.008 mg/kg。

表2 方法加标回收率、检出限、定量限和精密度

Table 2 Recoveries, determination limits, quantification limits and precisions of method

组分 Component	添加水平 Spiked level (mg/kg)	平均回收率 Average recovery (%)	相对标准偏差 RSD (%, <i>n</i> = 6)	定量限 LOQ (mg/kg)	检出限 LOD (mg/kg)
2 <i>A-D</i> -乙酯	0.01	86.7	8.4	0.01	0.003
2 <i>A-D</i> -Ethylester	0.05	91.3	7.5		
2 <i>A-D</i> -丁酯	0.01	90.3	7.8	0.01	0.003
2 <i>A-D</i> -Butylester	0.05	95.4	5.4		
4-氯苯氧乙酸	0.025	76.3	10.3	0.025	0.008
4-Chlorophenoxyacetic acid, CPA	0.1	82.4	7.9		
2,4-氯苯氧乙酸	0.025	81.3	9.2	0.025	0.008
(2,4-Dichlorophenoxy) acetic acid, 2,4-D	0.1	88.6	6.3		
β -萘乙酸	0.025	80.3	8.6	0.025	0.008
β -Naphthalene acetic acid	0.1	89.4	6.4		
吲哚乙酸	0.025	77.4	11.3	0.025	0.008
Indole acetic acid	0.1	83.2	8.3		
吲哚丁酸	0.025	76.5	9.4	0.025	0.008
Indole butyric acid	0.1	80.5	7.7		
多效唑	0.01	87.6	8.3	0.01	0.003
Paclobutrazol	0.05	93.2	5.2		
激动素	0.025	74.3	11.2	0.025	0.008
Kinetin	0.1	83.2	9.4		
6-苄基腺嘌呤	0.025	70.5	12.3	0.025	0.008
6-Benzyl adenine, 6-BA	0.1	79.3	10.4		

3.5 样品分析

从杭州超市、农贸市场中采集豆芽各10份进行10种植物生长调节剂残留分析,主要检出CPA和吲哚乙酸,检出率分别为50%和20%,含量范围为0.014~0.26 mg/kg,CPA已经从GB2762-2011《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中删除了在豆芽生产中使用的规定。吲哚乙酸是植物内源性生长素之一,可以促进豆芽杆的生长,未见豆芽中吲哚乙酸本底含量的报道,虽然吲哚乙酸对动物的毒性较低,目前我国尚未规定吲哚乙酸在豆芽生产中应用。

References

- 1 SU Fang-Fei, HU Meng-Qing, MEI Tian-Zi, YANG Bei, YANG Shu-Long, ZOU Wei-Ying, ZOU Ting, ZHANG Da-Lei. *Journal of Nanchang University (Medical Science)*, **2013**, 53(1): 13-15
苏芳菲, 胡梦青, 梅天资, 杨蓓, 杨树龙, 邹惟莹, 邹挺, 张大雷. 南昌大学学报(医学版), **2013**, 53(1): 13-15
- 2 XU Ai-Dong. *China Vegetables*, **2009** (8): 1-6
徐爱东. 中国蔬菜, **2009** (8): 1-6
- 3 WANG Yi-Qian, ZHANG Guang-Hua, HE Hong-Ju. *Modern Instruments*, **2012**, 18(2): 6-10
王一茜, 张广华, 何洪巨, 现代仪器, **2012**, 18(2): 6-10
- 4 GB/T23205-2008 *Determination of 448 pesticides and related chemicals residues in tea LC-MS-MS method*. National Standards of the People's Republic of China
茶叶中448种农药多残留及相关化学品残留量的测定 液相色谱质谱法, 中华人民共和国国家标准 GB/T23205-2008
- 5 LIU Jing-Jing, GONG Ping, ZHANG Xiao-Mei, WANG Jian-Hua, WANG Jing-Tang. *Chinese Journal of Chromatography*, **2012**, 30(10): 1012-1016
刘靖靖, 宫萍, 张晓梅, 王建华, 王境堂. 色谱, **2012**, 30(10): 1012-1016
- 6 MOU Yan-Li, GUO De-Hua, DING Zhuo-Ping, YI Xiong-Hai. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2013**, 41(11): 1640-1646
牟艳莉, 郭德华, 丁卓平, 伊雄海. 分析化学, **2013**, 41(11): 1640-1646
- 7 WU Feng-Qi, JIN Bao-Hui, CHEN Bo, CHEN Pei-Jin, XIAO Feng. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, **2010**, 26(15): 115-119
吴凤琪, 靳保辉, 陈波, 陈沛金, 肖锋. 中国农学通报, **2010**, 26(15): 115-119
- 8 MOU Yan-Li, GUO De-Hua, DING Zhuo-Ping. *Journal of Instrumental Analysis*, **2013**, 32(8): 935-940
牟艳莉, 郭德华, 丁卓平. 分析测试学报, **2013**, 32(8): 935-940
- 9 Ma L, Zhang H, Xu W, He X, Yang L, Luo Y, Huang K. *Food Anal. Methods*, **2013**, 6(3): 941-951
- 10 Zhang F, Zhao P, Shan W, Gong Y, Jian Q, Pan C. *Bull Environ Contam Toxicol*, **2012**, 89: 674-679
- 11 Anastassides M, Lehotay S J, Stajnbaher D. *J. AOAC International*, **2003**, 86(2): 412-431
- 12 ZHAO Yan-Sheng, DONG Ying, ZHANG Feng, YANG Min-Li, FENG Feng, CHU Xiao-Gang. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2012**, 40(2): 249-256
赵延胜, 董英, 张峰, 杨敏莉, 冯峰, 储晓刚. 分析化学, **2012**, 40(2): 249-256
- 13 WU Ping-Gu, WANG Qiang, CHEN Hui-Hua, YING Yong-Fei, ZHAO Yong-Xin. *Chinese J. Anal. Chem.*, **2008**, 36(11): 1476-1482
吴平谷, 王强, 沈向红, 陈慧华, 宋国良, 应永飞, 徐小民, 赵永信. 分析化学, **2008**, 36(11): 1476-1482

Determination of 10 Plant Growth Regulators in Bean Sprouts by Sequential Cleaning-Gas Chromatography-Mass Spectrometry

WU Ping-Gu^{*}, TAN Yin, ZHANG Jin, WANG Li-Yuan, TANG Jun,

JIANG Wei , PAN Xiao-Dong , MA Bing-Jie , NI Zhu-Nan , WANG Tian-Jiao

(Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou 310051, China)

Abstract A sequential clean-up method was developed for the quantification of 10 plant growth regulators in bean sprout by the gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). The analytes were firstly extracted by the acidified acetonitrile. Extraction was concentrated and re-dissolved by methanol. Then, it was divided into two aliquots. One of them was analyzed for 2,4-*D*-butyl ester and 2,4-*D*-ethyl ester after the purification by QuECHERS cartridge. Another one was treated by MCS solid phase extraction column including diverse eluting steps. After eluting by 5 mL methanol, composition 1 was obtained, concentrated, and methyl esterified by 10% boron trifluoride methanol solution. The treated extract was used for the determination of 4-chlorophenoxy acetic acid, β -naphthyl acetic acid, 2,4-dichlorophenoxy acetic acid, indole acetic acid and indole butyric acid. Composition 2 collected by eluting with 5 mL 5% ammonium methanol was used for the determination of paclobutrazol, Kinetin, 6-Benzylaminopurine. The clean-up procedures are designed according to different chemistry properties of these plant growth regulators. The results showed that after spiking of 0.01–0.1 mg/kg selected plant growth regulators, average recovery ranged from 70.0% to 93.2% and relative standard deviation were 5.2%–12.3%. Limit of quantification (LOQ $S/N \geq 10$) and limit of detection (LOD $S/N \geq 3$) were 0.01–0.025 mg/kg and 0.003–0.008 mg/kg respectively. The developed purification method is easy, fast and accurate, and can be applied to routine test of plant growth regulators in bean sprout.

Keywords Bean sprout; Plant growth regulator; Sequential cleaning; Gas chromatography-mass spectrometry

(Received 3 February 2014; accepted 17 March 2014)

《化工辞典》第五版

欧阳平凯 主任 王延儒 主审 姚虎卿 主编 管国锋 副主编

被称为“化工界的新华字典”在业界有很大的影响力;第五版是在前四版的基础上组织众多专家、学者重新编写而成;第五版修订注重突出化工基础理论、化工技术的应用与发展和与化工相关专业交叉的技术,尤其是着重了新词汇、新成果;《化工辞典》是一本编排严谨、科学、检索系统完备且使用方便的化工案头工具书。

《化工辞典》第五版重点增加了化学工程及其各单元过程、煤化工、石油和天然气化工、高分子化工、海洋化工、生物化工以及物理化学基本理论和应用等方面的词条;特别增设可供研究开发参考的单元过程耦合、换热和热回收网络、过程优化以及化学工程方法放大等方面的词条;补充化工与其他学科相互交叉的新材料、环境保护、废弃物循环利用、新能源和能量有效利用等方面的词条;对助剂、溶剂、添加剂、农药、医药等精细化工产品以及社会经济生活的内容进行了应用方面的补充和修订。

书 号: 978-7-122-16889-4 定价: 138.0 元

出版时间: 2014 年 5 月 开本: 16 化学工业出版社出版