

## 基于细菌纤维素的毛细管电泳法同时测定果蔬中 3种苯并咪唑类杀菌剂

刘翠翠<sup>#</sup>, 毕晓彤<sup>#</sup>, 张爱琳, 闫师杰<sup>\*</sup>

(天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津 300384)

**摘要:**建立了高效毛细管电泳同时测定果蔬中3种常见的苯并咪唑类杀菌剂(甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵)的分析方法。以细菌纤维素(BC)为电泳缓冲液添加剂来提高毛细管电泳的分离能力。系统考察了检测波长、缓冲液离子强度、缓冲液pH、分离电压及BC添加量对3种苯并咪唑类杀菌剂分离效果的影响。最终的优化条件:  $H_3BO_3/Na_2B_4O_7$  缓冲液(4 mmol/L, pH 9.0); BC添加质量分数0.3%;运行电压15 kV;分离柱温25 °C;检测波长275 nm。3种苯并咪唑类杀菌剂在8 min之内可实现基线分离及准确定量。结果显示:3种苯并咪唑类杀菌剂在各自线性范围内线性关系良好,相关系数( $r^2$ ) $\geq 0.997$ ;检出限为5.0~10.0  $\mu g/L$ ;保留时间及峰面积的日间相对标准偏差( $n=5$ )分别为0.82%~1.0%和2.4%~2.9%。该法用于葡萄、番茄及黄瓜中3种苯并咪唑类杀菌剂的测定,加标回收率为93.5%~103.0%, RSD $\leq 8.0\%$ 。该法可作为果蔬中甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵同时检测的有效手段。

**关键词:**毛细管电泳;细菌纤维素;苯并咪唑类杀菌剂;甲基硫菌灵;多菌灵;苯菌灵;果蔬

中图分类号:O658 文献标识码:A 文章编号:1000-8713(2017)12-1306-06

## Simultaneous determination of three benzimidazole fungicides in fruits and vegetables by capillary electrophoresis based on bacterial cellulose

LIU Cuicui<sup>#</sup>, BI Xiaotong<sup>#</sup>, ZHANG Ailin, YAN Shijie<sup>\*</sup>

(Department of Food Science and Biology Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** A simple and rapid capillary electrophoresis (CE) method was developed for the determination of trace thiophanate-methyl, carbendazim and benomyl in fruits and vegetables. Herein, bacterial cellulose (BC) was used as additive in running buffer to improve the separation efficiency. CE experimental parameters such as detection wavelength, concentration and pH of the running buffer, separation voltage as well as the contents of BC in running buffer were systematically investigated. Under the optimized conditions, three benzimidazole fungicides could be accurate quantified in 8 min using  $H_3BO_3/Na_2B_4O_7$  (4 mmol/L, pH 9.0) containing 0.3% (mass fraction) BC for background electrolyte, 15 kV for the separation voltage, 25 °C for the column temperature and 275 nm for detection wavelength. Good linearities for the three benzimidazole fungicides were obtained with correlation coefficients ( $r^2$ ) $\geq 0.997$ . The limits of detection (LODs) of the three benzimidazole fungicides were between 5.0 and 10.0  $\mu g/L$ . The relative standard deviations (RSDs,  $n=5$ ) of inter-day were 0.82%–1.0% for retention times and 2.4%–2.9% for peak areas. The proposed method was further applied to determine the residues of the three benzimidazole fungicides in fruits and vegetables. The recoveries were in the range of 93.5%–103.0% with RSDs no more than 8.0%. These results indicated that the

收稿日期:2017-09-07

<sup>#</sup> 共同第一作者。

<sup>\*</sup> 通讯联系人.E-mail:yanshijie@126.com.

基金项目:天津农学院科学研究发展基金(2016NZD02);天津农学院研究生创新培育项目(2017YPY019).

**Foundation item:** Scientific Research and Development Foundation of Tianjin Agricultural University (No. 2016NZD02); Post-graduate Innovation Cultivation Program of Tianjin Agricultural University (No. 2017YPY019).

proposed method can serve as an efficient tool for the simultaneous determination of the three benzimidazole fungicides in fruits and vegetables.

**Key words:** capillary electrophoresis (CE); bacterial cellulose (BC); benzimidazole fungicides; thiophanate-methyl; carbendazim; benomyl; fruits and vegetables

甲基硫菌灵 (thiophanate-methyl)、多菌灵 (carbendazim) 和苯菌灵 (benomyl) 均属苯并咪唑类杀菌剂,主要用于蔬菜、水果、谷物等真菌病害的防治、粮食储藏和种子处理等过程<sup>[1]</sup>。3 种苯并咪唑类杀菌剂对人体有不同的毒理学效应。其中,甲基硫菌灵具有基因毒性和生殖毒性<sup>[2,3]</sup>; 苯菌灵残留过量可引起哺乳动物染色体及肝细胞的微管骨架发现变化<sup>[4]</sup>。甲基硫菌灵和苯菌灵可降解或代谢为多菌灵,多菌灵残效期长,具有蓄积毒性<sup>[4,5]</sup>。国家标准 GB 2763-2016 规定甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵在不同果蔬样品中的最大残留限量为 0.1~5.0 mg/kg; 蔬菜、水果中甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵的测定主要基于紫外分光光度法 (GB/T 5009.188-2003) 和高效液相色谱法 (SN/T 0162-2011), 其中甲基硫菌灵和苯菌灵残留限量的检测均以多菌灵计。这难免为农产品中多菌灵来源的判定及农产品安全风险的评估带来不确定性<sup>[6]</sup>。因此,开发甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵 3 种苯并咪唑类杀菌剂同时检测的方法对农产品农药残留严格监管及其代谢组学研究具有重要意义。

目前,苯并咪唑类杀菌剂多残留检测技术主要为高效液相色谱法<sup>[7,8]</sup>,但采用高效液相色谱同时检测甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵的方法还未见报道。毛细管电泳 (CE) 技术具备分离模式多、分析效率高、样品及有机试剂消耗少等特点,已被广泛应用于食品中污染物的检测。毛细管区带电泳是较为常用的电泳分离模式,为了提高分离效率,往往向电泳缓冲液中加入添加剂,比如:离子液体、表面活性剂、聚合物材料、糖类大分子等<sup>[9-13]</sup>。细菌纤维素 (bacterial cellulose, BC) 是由葡萄糖以  $\beta$ -1,4-糖苷键连接而成的高分子化合物,具有超细网状纤维结构、比表面积大、氢键结合能力强等优越性能<sup>[14]</sup>。Lin 等<sup>[15]</sup>以 BC 为原料制备羧甲基功能化 BC 吸附滤膜,以牛血清蛋白为模型考察其吸附性能,结果证明该吸附滤膜可以通过羧甲基取代度和静电相互作用两种方式调控对蛋白质的吸附行为。Wang 等<sup>[16]</sup>制备了新型聚乙烯亚胺涂层 BC 膜,并成功用于水溶液中重金属离子  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  的富集。BC 在分离科学领域表现出优越性能。本研究旨在结合 CE 分析

效率高及 BC 吸附能力强的特点,构建基于细菌纤维素的毛细管电泳法,为食品中甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵残留的同时检测提供新途径。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器、试剂与材料

P/ACE MDQ 毛细管电泳仪配二极管阵列检测器 (美国贝克曼库尔特有限公司); 毛细管 (75  $\mu\text{m}$ , 河北永年光纤厂); FE20 pH 计 (瑞士 Mettler-Toledo 公司); XHF-DY 高速分散器 (宁波新芝生物科技股份有限公司)。

BC (片状,海南亿德食品有限公司); 氢氧化钠 (NaOH, 分析纯)、盐酸 (分析纯)、硼酸 ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 分析纯)、硼砂 ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , 分析纯) 和 *N,N*-二甲基甲酰胺均购自天津市化学试剂一厂。标准品: 甲基硫菌灵 (粉末, 纯度 97.5%)、多菌灵 (粉末, 纯度 99%) 和苯菌灵 (粉末, 纯度 99%) 均购自上海阿拉丁试剂公司。实验用水为二次去离子水。

### 1.2 溶液的配制

分别准确称取甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵标准品 10 mg, 置于 10 mL 容量瓶中, 用 *N,N*-二甲基甲酰胺溶解定容至刻度, 配制质量浓度为 1 000 mg/L 的单标准储备液, 于 4  $^{\circ}\text{C}$  储存, 备用。

将上述储备液用二次去离子水逐级稀释, 配制质量浓度为 0.005、0.020、0.025、0.05、0.1、0.2、0.25、0.5、1.0、2.5、5.0 和 10.0 mg/L 的单标准工作液。

用二次去离子水分别配制不同浓度的  $\text{H}_3\text{BO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  溶液, 并按照国家需要配制不同 pH 值的电泳缓冲液。

### 1.3 细菌纤维素处理

采用酸水解法对 BC 进行预处理<sup>[17]</sup>。称取 3.0 g 干燥 BC, 置于 250 mL 烧杯中, 加入 150 mL 蒸馏水, 以 2 500 r/min 匀浆 3 min, 然后以 4 000 r/min 离心 10 min, 除去上清液。在沉淀中加入 100 mL 50% (v/v) 的硫酸溶液, 于 50  $^{\circ}\text{C}$  水解 5 h 后, 转移至 1 000 mL 烧杯中, 加入 500 mL 蒸馏水终止反应, 然后静置过夜, 除去上层清液, 对下层产物进行离心 (10 000 r/min, 10 min), 用二次去离子水洗涤至中性, 冷冻干燥备用。

## 1.4 样品前处理

### 1.4.1 提取

参考文献<sup>[18]</sup>方法对样品进行前处理和净化。具体步骤如下:称取 5.0 g 样品(番茄、葡萄、黄瓜),置于 250 mL 具塞三角瓶中,加入 30 mL 二氯甲烷,以 160 r/min 振荡提取 2 h,然后以 10 000 r/min 离心 10 min,移取上清液,于 30 °C 旋转蒸发浓缩至 1 mL,待净化。

### 1.4.2 净化

在玻璃层析柱(300 mm×15 mm)中由下至上依次装入 2 cm 无水硫酸钠、5.0 g 硅胶和 0.2 g 活性炭的混合物、2 cm 无水硫酸钠。用 15 mL 丙酮-正己烷(1:9, v/v)活化柱子,待液面降至上层无水硫酸钠层时进行上样,然后用 10 mL 甲醇-丙酮(1:1, v/v)进行洗脱,收集洗脱液,于 35 °C 旋转蒸发至近干,用甲醇定容至 1 mL,过 0.45 μm 有机滤膜,待测定。

## 1.5 电泳条件

毛细管(内径:75 μm;有效长度:50 cm)使用前先进行活化,分别用 1.0 mol/L NaOH 溶液、1.0 mol/L 盐酸和去离子水各冲洗 3 h;两次运行之间,毛细管依次用甲醇冲洗 1 min,去离子水冲洗 2 min,分离缓冲溶液冲洗 3 min。分离电压为 15 kV;分离温度为 25 °C;压力进样为 3.45 kPa (0.5 psi),10 s;波长为 275 nm;运行缓冲液为 4 mmol/L H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(pH 9.0);细菌纤维素添加质量分数为 0.3%。

## 2 结果与讨论

### 2.1 检测波长的选择

检测波长直接影响分析物的色谱峰强度及方法的灵敏度。紫外全波长扫描结果显示:甲基硫菌灵最大吸收波长为 210 nm 和 269 nm;多菌灵最大吸收波长为 210 nm 和 282 nm;苯菌灵最大吸收波长为 210 nm 和 285 nm。为保证 3 种待测物均有较好的响应,同时降低杂质的干扰,最终选择 275 nm 作为 3 种苯并咪唑类杀菌剂的检测波长。

### 2.2 缓冲液 pH 的选择

分离缓冲液的 pH 值是影响分析物分离效果及电渗流大小的关键因素。本实验考察了不同 pH 值(8.5、9.0 和 9.5)对甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵分离效果的影响。如图 1 所示,随着 pH 值的升高,分析物的保留时间有所缩短,这可能是毛细管内壁硅羟基的解离程度增加,电渗流增大的原因。当 pH 值为 9.0 时,3 种苯并咪唑类杀菌剂的分离度最大,

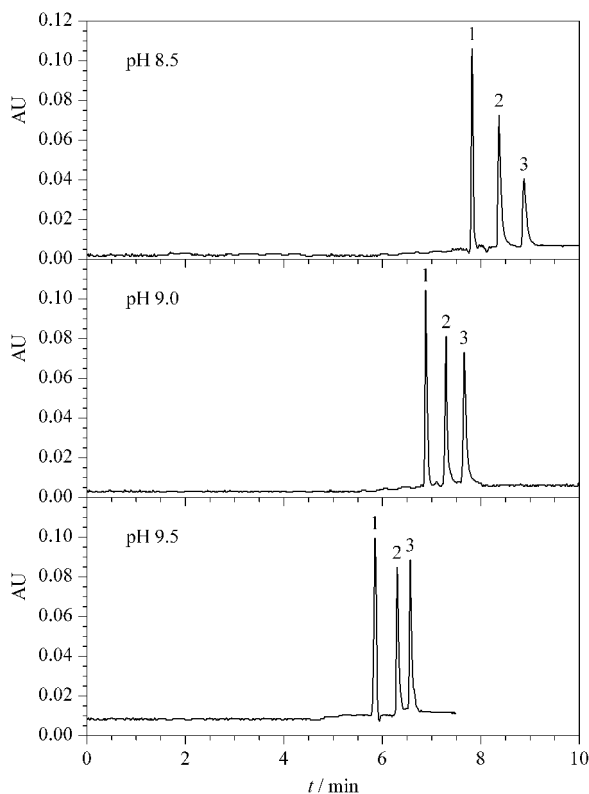


图 1 分离缓冲液的 pH 值对 3 种苯并咪唑类杀菌剂分离效果的影响

Fig. 1 Effects of pH values of running buffer on separation of the three benzimidazole fungicides

Running buffer: 4 mmol/L borate buffer (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) containing 0.3% (mass fraction) bacterial cellulose (BC); separation voltage: 15 kV; pressure injection: 3.45 kPa for 10 s; detection wavelength: 275 nm.

Peak identifications: 1. thiophanate-methyl; 2. carbendazim; 3. benomyl.

峰形最佳。因此,选择 9.0 作为分离缓冲液的最佳 pH 值。

### 2.3 分离缓冲液离子强度的选择

分离缓冲液的离子强度是电泳过程中影响分析物迁移行为的又一关键因素。如图 2 所示,当分离缓冲液浓度分别为 2、4 和 6 mmol/L 时,3 种苯并咪唑类杀菌剂均能达到基线分离,但随着分离缓冲液浓度的增加,保留时间稍有延长,这可能是由于双电层厚度减小,导致电渗流减小。此外,随着缓冲液浓度的增加,焦耳热增加,导致峰形变宽。综合考虑分析时间和峰形效果,选择 4 mmol/L 作为分离缓冲液的最佳浓度。

### 2.4 分离电压的选择

高电压能够提高电场强度,从而直接缩短分析时间。但电压升高同样增加热效应,最终导致柱效和分离度降低。本实验选择 15 kV 作为最佳分离电压。

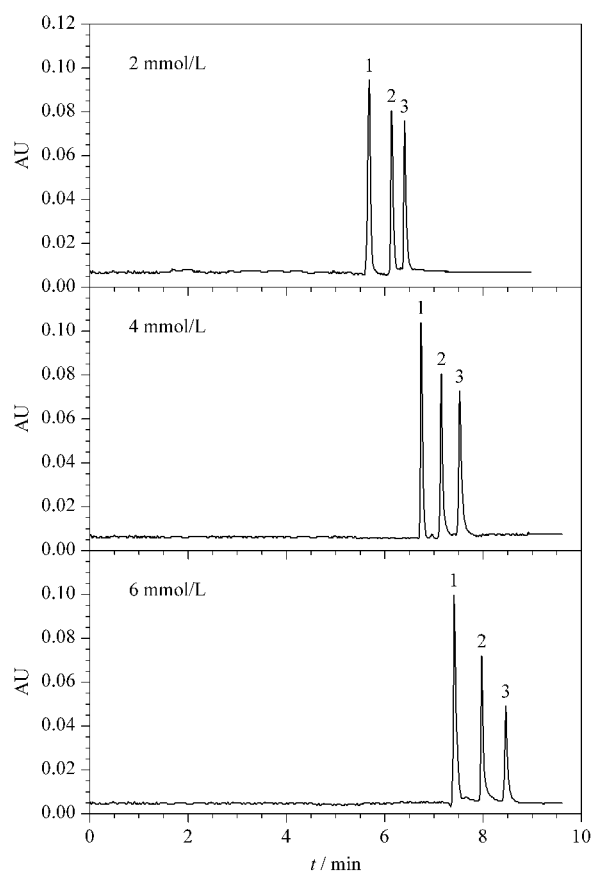


图 2 分离缓冲液的浓度对 3 种苯并咪唑类杀菌剂分离效果的影响

Fig. 2 Effects of concentrations of running buffer on separation of the three benzimidazole fungicides

Running buffer: borate buffer (pH 9.0) containing 0.3% (mass fraction) BC. Other CE conditions were the same as that in Fig. 1.

Peak identifications: 1. thiophanate-methyl; 2. carbendazim; 3. benomyl.

## 2.5 细菌纤维素添加量的选择

为了证明 BC 对 3 种苯并咪唑类杀菌剂分离效果的改善作用,考察了不同 BC 添加量对分离效果的影响。如图 3 所示,未添加细菌纤维素时,3 种苯并咪唑类杀菌剂的色谱峰基本重叠;当添加质量分数为 0.1% 的 BC 时,目标物的分离度得到了明显改善,但多菌灵和苯菌灵仍不能达到基线分离;继续增加细菌纤维素的添加量至质量分数为 0.3%,多菌灵和苯菌灵基本达到基线分离,分离度为 1.76,但进一步增加 BC 的添加量,并不能改善分离效果,反而会导致重复性的降低。另外,随着 BC 添加量的增加,分析物保留时间延长,这可能是由于 BC 表面的羟基经过硫酸处理发生酯化反应,使 BC 表面带有负电荷,其电迁移速度指向阳极,当目标物通过疏水、氢键等与 BC 相互作用时,减缓了目标物的迁移速度。综合考虑,BC 的最佳添加量为质量分数 0.3%。

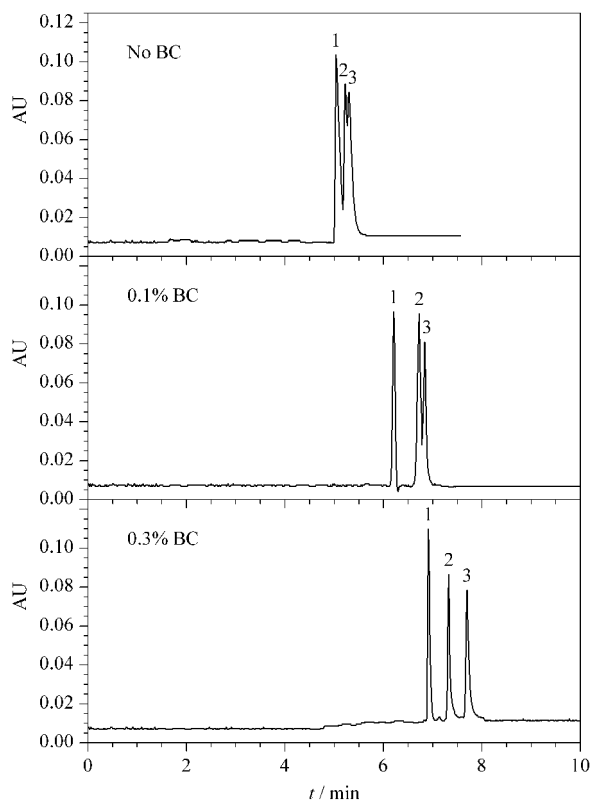


图 3 BC 的质量分数对 3 种苯并咪唑类杀菌剂分离效果的影响  
Fig. 3 Effects of mass fraction of BC on separation of the three benzimidazole fungicides

Running buffer: 4 mmol/L borate buffer (pH 9.0). Other CE conditions were the same as that in Fig. 1.

Peak identifications: 1. thiophanate-methyl; 2. carbendazim; 3. benomyl.

## 2.6 方法学评价

### 2.6.1 线性关系和检出限

对 3 种苯并咪唑类杀菌剂标准工作液进行与样品相同的提取、净化过程,然后进样分析。以分析物的峰面积为纵坐标 ( $Y$ )、对应的质量浓度为横坐标 ( $X$ ,  $\mu\text{g/L}$ ) 进行线性拟合,得到 3 种苯并咪唑类杀菌剂的线性范围和相关系数 ( $r^2$ )。通过 3 倍信噪比 ( $S/N$ ) 得到本方法对 3 种苯并咪唑类杀菌剂的检出限 (LOD),结果见表 1。甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵在各自的线性范围内线性关系良好,相关系数  $\geq$

表 1 3 种苯并咪唑类杀菌剂的回归方程、相关系数、线性范围及检出限

Table 1 Regression equations, correlation coefficients ( $r^2$ ), linear ranges and limits of detection (LODs) of the three benzimidazole fungicides

Analyte	Regression equation	$r^2$	Linear range/ ( $\mu\text{g/L}$ )	LOD/ ( $\mu\text{g/L}$ )
Thiophanate-methyl	$Y = 1201X + 576.6$	0.997	25-5000	5.0
Carbendazim	$Y = 1397X + 480.9$	0.999	20-5000	5.0
Benomyl	$Y = 1283X + 460.5$	0.998	25-5000	10.0

$Y$ : peak area;  $X$ : mass concentration,  $\mu\text{g/L}$ .

0.997, 检出限  $\leq 10.0 \mu\text{g/L}$ 。

### 2.6.2 精密度

配制  $0.1 \text{ mg/L}$  的甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵标准溶液, 同一日内, 连续测定 11 次, 计算 3 种苯并咪唑类杀菌剂峰面积和保留时间的相对标准偏差 (RSD), 得到日内精密度; 配制  $0.1 \text{ mg/L}$  的甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵标准溶液, 连续测定 5 天, 计算 3 种苯并咪唑类杀菌剂峰面积和保留时间的 RSD, 得到日间精密度, 计算结果见表 2。3 种苯并咪唑类杀菌剂峰面积和保留时间的日内和日间精密度均较小, 证明该方法定量重复性较好。

### 2.6.3 样品测定及加标回收率

实验检测的果蔬样品 (番茄、葡萄、黄瓜) 均购自当地超市, 经本方法检测, 均为阴性。

表 2 3 种苯并咪唑类杀菌剂的日间和日内精密度  
Table 2 Intra-day and inter-day precisions of the three benzimidazole fungicides

Analyte	Intra-day RSDs ( $n=11$ )/%		Inter-day RSDs ( $n=5$ )/%	
	Retention time	Peak area	Retention time	Peak area
Thiophanate-methyl	0.66	1.8	0.82	2.9
Carbendazim	0.52	1.9	1.00	2.4
Benomyl	0.54	2.1	0.94	2.5

分别称取空白果蔬样品  $5.0 \text{ g}$ , 添加 1、10 和  $50 \text{ mg/L}$  3 个不同水平的标准溶液  $100 \mu\text{L}$  (相当于样品添加含量为 20、200 和  $1000 \mu\text{g/kg}$ )。加标样品经提取、净化后测定回收率, 结果见表 3。3 种苯并咪唑类杀菌剂的加标回收率均  $\geq 93.5\%$ , RSD 均  $\leq 8.0\%$ 。

表 3 果蔬样品中 3 种苯并咪唑类杀菌剂的加标回收率 ( $n=3$ )  
Table 3 Recoveries of the three benzimidazole fungicides spiked in fruit and vegetable samples ( $n=3$ )

Sample	Analyte	Added/ $(\mu\text{g/kg})$	Found (mean $\pm$ SD)/ $(\mu\text{g/kg})$	Recovery (mean $\pm$ SD)/%	RSD/%
Grapes	thiophanate-methyl	20	19.1 $\pm$ 0.4	95.5 $\pm$ 2.2	2.3
		200	195.0 $\pm$ 5.3	97.5 $\pm$ 2.6	2.7
		1000	953.3 $\pm$ 44.8	95.3 $\pm$ 4.5	4.7
	carbendazim	20	20.6 $\pm$ 0.9	103.0 $\pm$ 4.6	4.4
		200	193.7 $\pm$ 2.0	96.9 $\pm$ 1.0	1.1
		1000	996.7 $\pm$ 8.1	99.7 $\pm$ 0.8	0.8
	benomyl	20	20.1 $\pm$ 0.5	100.4 $\pm$ 2.3	2.2
		200	197.4 $\pm$ 4.6	98.7 $\pm$ 2.3	2.3
		1000	980.0 $\pm$ 66.5	98.0 $\pm$ 6.7	6.8
Tomatoes	thiophanate-methyl	20	19.5 $\pm$ 0.6	97.7 $\pm$ 2.8	2.8
		200	199.7 $\pm$ 4.0	99.8 $\pm$ 2.0	2.0
		1000	1000.3 $\pm$ 73.6	100.0 $\pm$ 7.4	7.4
	carbendazim	20	19.7 $\pm$ 0.7	98.5 $\pm$ 3.3	3.3
		200	192.4 $\pm$ 7.3	96.2 $\pm$ 3.7	3.8
		1000	1026.7 $\pm$ 57.5	102.7 $\pm$ 5.8	5.6
	benomyl	20	19.0 $\pm$ 0.6	95.2 $\pm$ 3.0	3.2
		200	199.1 $\pm$ 7.2	99.6 $\pm$ 3.6	3.6
		1000	970.0 $\pm$ 21.3	97.0 $\pm$ 2.1	2.2
Cucumbers	thiophanate-methyl	20	19.7 $\pm$ 0.3	98.6 $\pm$ 1.7	1.7
		200	190.7 $\pm$ 5.7	95.3 $\pm$ 2.8	3.0
		1000	942.3 $\pm$ 53.5	94.2 $\pm$ 5.3	5.7
	carbendazim	20	18.7 $\pm$ 0.6	93.5 $\pm$ 2.8	3.0
		200	197.3 $\pm$ 1.5	98.7 $\pm$ 0.8	0.8
		1000	995.7 $\pm$ 54.0	99.6 $\pm$ 5.4	5.4
	benomyl	20	18.7 $\pm$ 1.5	93.5 $\pm$ 7.5	8.0
		200	189.0 $\pm$ 12.9	94.5 $\pm$ 6.4	6.8
		1000	1009.2 $\pm$ 58.4	100.9 $\pm$ 5.8	5.8

## 3 结论

本文以 BC 为添加剂, 建立了同时测定杀菌剂甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵的毛细管电泳法。该方法灵敏度高, 重复性好, 已成功用于葡萄、黄瓜、番茄样品中 3 种苯并咪唑类杀菌剂的检测。该方法可为果蔬中甲基硫菌灵、多菌灵和苯菌灵的同时检测提供理论依据。

## 参考文献:

- [1] Cycon M, Wojcik M, Piotrowska-Seget Z. Biodegradation, 2011, 22: 573
- [2] Chayata H, Lassalle Y, Nicol E, et al. J Chromatogr A, 2016, 1441: 75
- [3] Chen H P, Liu X, Wang C P, et al. J Chromatogr Sci, 2014, 52(10): 1157
- [4] Huang W W, Liu X S, Zheng L, et al. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(22): 56

- 黄文雯, 刘晓松, 郑玲, 等. 食品工业科技, 2012, 33(22): 56
- [5] Li H F, Li J, Xu G F, et al. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2009(1): 114  
李海飞, 李静, 徐国锋, 等. 现代农业科技, 2009(1): 114
- [6] Wu C, Wang L, Zhao Z Q. *Quality and Safety of Agro-products*, 2016(4): 69  
吴成, 王蕾, 赵志强. 农产品质量与安全, 2016(4): 69
- [7] Zheng X P, Ding L P, Chen Z T, et al. *Chinese Journal of Chromatography*, 2015, 33(6): 652  
郑香平, 丁立平, 陈志涛, 等. 色谱, 2015, 33(6): 652
- [8] Li F Q, Shi L H, Wang F, et al. *Chinese Journal of Chromatography*, 2017, 35(6): 620  
李福琴, 石丽红, 王飞, 等. 色谱, 2017, 35(6): 620
- [9] Tian Y, Li Y F, Mei J, et al. *J Chromatogr A*, 2015, 1412: 151
- [10] Zhou C Y, Deng J J, Shi G Y, et al. *Electrophoresis*, 2017, 38(7): 1060
- [11] Han H F, Wang Q, Liu X, et al. *Chinese Journal of Chromatography*, 2012, 30(5): 538  
韩海峰, 王庆, 刘霞, 等. 色谱, 2012, 30(5): 538
- [12] Sola L, Chiari M. *J Chromatogr A*, 2012, 1270: 324
- [13] Qiu H D, Hu Y Y, Liu X, et al. *Chinese Journal of Chromatography*, 2007, 25(3): 293  
邱洪灯, 胡云雁, 刘霞, 等. 色谱, 2007, 25(3): 293
- [14] Chen S, Shen W, Yu F, et al. *J Appl Polym Sci*, 2010, 117(1): 8
- [15] Lin Q, Zheng Y, Wang G, et al. *Int J Biol Macromol*, 2015, 73: 264
- [16] Wang J, Lu X, Ng P F, et al. *J Colloid Interface Sci*, 2015, 440: 32
- [17] Li Y H, Niu Q X, Fan J S. *China Pulp & Paper Industry*, 2012, 33(22): 20  
李延灏, 牛千雪, 范金石. 中华纸业, 2012, 33(22): 20
- [18] Yin X H, Li R Y, Wang M, et al. *Agrochemicals*, 2014, 53(3): 191  
尹显慧, 李荣玉, 王梅, 等. 农药, 2014, 53(3): 191

## 《分析化学》征订启事

《分析化学》(ISSN 0253-3820, CODEN FHHHDT, CN 22-1125/O6)是中国科学院和中国化学会共同主办的专业性学术期刊,主要报道我国分析化学创新性研究成果,反映国内外分析化学学科前沿和进展。刊物设有特约来稿、研究快报、研究报告、研究简报、评述与进展、仪器装置与实验技术、来稿摘登等栏目。读者对象为从事分析化学研究和测试的科技人员及大专院校师生。本刊也是有关图书、情报等部门必不可少的信息来源。

《分析化学》目前是我国自然科学核心期刊及全国优秀科技期刊,1999年荣获首届国家期刊奖,2000年获中国科学院优秀期刊特别奖,2001年入选“中国期刊方阵”高知名度、高学术水平的“双高”期刊,2002年又荣获第二届国家期刊奖和第三届中国科协优秀科技期刊奖。论文已被包括美、英、日、俄的国内外近20种检索系统收录。根据中国科技信息研究所历年来发布的“中国科技期刊引证报告”获悉,2015年公布的影响因子为1.289。多年来,本刊逐年被选入美国权威文摘《化学文摘》(CA)摘引量最大的1000种期刊(简称“CA千种表”)中,并居我国入选“CA千种表”期刊的前列。从1999年第27卷第1期开始被美国科学信息研究所(Institute for Scientific Information)正式收入《科学引文索引扩大版》(Science Citation Index-Expanded, SCIE, 又名 SciSearch),同时还被收入《Research Alert》和《Chemistry Citation Index》等 ISI 系列。

本刊为月刊,每期160页(大16开),由科学出版社出版。国内单价45.00元,全年540.00元。邮发代号12-6,全国各地邮局订阅,国外代号M336,中国国际书店订购,漏订读者,可与编辑部联系。广告经营许可证号2200004000094,广告代理:北京行胜言广告有限公司,电话:(010)51289220。

编辑部地址:长春市人民大街5625号; 邮政编码:130022

编辑部电话:(0431)85262017/85262018; 传真:(0431)85262018

E-mail:fxhx@ciac.ac.cn

网址:http://www.analchem.cn;http://www.sciencedirect.com/science/journal/18722040(英文版)

QQ:346389466;微信公众平台:CJAC\_Office