

# 保鲜剂抑霉唑在香蕉中的消解动态及残留分析

韦典<sup>1</sup>, 杨珂<sup>1</sup>, 曾东强<sup>1</sup>, 王彦辉<sup>1,2</sup>, 王忠文<sup>1</sup>, 刘晓亮<sup>1\*</sup>

(1. 广西大学农药与环境毒理研究所, 南宁 530005; 2. 广西农业科学院植物保护研究所, 南宁 530007)

**摘要** 采用 GC-uECD 法探索了室内自然温度和 12~14℃ 恒温贮藏条件下抑霉唑在香蕉中的消解规律和最终残留量。方法的定量限为 1~2 μg/kg, 在添加 0.02、0.2、2 mg/kg 范围内平均回收率为 94.7%~107.6%, 相对标准偏差为 1.0%~7.4%。采用该方法测定抑霉唑在香蕉中的残留, 将抑霉唑按有效成分 300~450 mg/kg 在香蕉上使用, 其在香蕉上的原始沉积量为 1.596~1.848 mg/kg, 抑霉唑在香蕉中的消解行为符合一级降解动力学方程, 在室内自然温度和 12~14℃ 恒温贮藏条件下半衰期分别为 8.9~10.2 d 和 13.3 d。

**关键词** 抑霉唑; 香蕉; 消解; 残留

**中图分类号:** X 592 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.04.029

## Degradation dynamics and residue analysis of imazalil in banana

Wei Dian<sup>1</sup>, Yang Ke<sup>1</sup>, Zeng Dongqiang<sup>1</sup>, Wang Yanhui<sup>1,2</sup>, Wang Zhongwen<sup>1</sup>, Liu Xiaoliang<sup>1</sup>

(1. *Institute of Pesticide & Environmental Toxicology, Guangxi University, Nanning 530005, China*;

2. *Plant Protection Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China*)

**Abstract** Degradation dynamics and residue analysis of imazalil in banana were detected by GC-uECD with external standard method after the samples were extracted with acetonitrile and the extracts were cleaned up by PSA. The limits of detections (LOQs) were in the range of 1–2 μg/kg. The recoveries of imazalil were in the range of 94.7%–107.6% at the spiked levels of 0.02, 0.2 and 2 mg/kg in the whole banana and the pulp matrixes, and the relative standard deviations (RSDs) were in the range of 1.0%–7.4%. The method can be used for the determination of imazalil residues in banana. The results showed that imazalil initial residues in banana were in the range of 1.596–1.848 mg/kg after fruit soaking with imazalil of 300–400 mg/kg. The degradation dynamics of imazalil in banana accorded with the one-level kinetics equation, and the half-lives of imazalil stored at room temperature and 12–14°C were 8.9–10.2 d and 13.3 d, respectively.

**Key words** imazalil; banana; degradation; residue

抑霉唑(imazalil)又称烯菌灵,是一种广谱内吸性杀菌剂,对果蔬中常见的青霉病、绿霉病等有很好的防治作用,被广泛应用于采收后的各种水果和蔬菜的防腐保鲜。研究发现,人体若长期摄入抑霉唑会引起内分泌系统功能紊乱,神经系统及肝脏也会受到影响。由于抑霉唑是危害人类健康的一大隐患,许多发达国家限制抑霉唑使用并将其列入监控范围<sup>[1]</sup>。抑霉唑每日允许摄入量(ADI)为 0.03 mg/kg bw,欧盟、食品法典委员会(CAC)、英国和韩国规定抑霉唑在香蕉上的最大残留限量(MRL)均为 2.0 mg/kg。但我

国目前还没有制定抑霉唑在香蕉上的 MRL 值。我国是仅次于印度的世界第二大香蕉生产国,产量占世界总产量的 10%左右。为了保障我国香蕉产业的持续发展,减少香蕉出口时技术贸易壁垒的影响,需进一步健全抑霉唑在香蕉上相关标准的制定。

目前,国内外对食品中抑霉唑含量的检测已有较多报道,这些报道主要集中在高效液相色谱<sup>[2-6]</sup>、气相色谱<sup>[7-9]</sup>及色谱-质谱联用<sup>[10-15]</sup>时抑霉唑分析方法的开发和样品中抑霉唑残留量的检测,而抑霉唑作为香蕉保鲜剂在冷藏和室温条件下的消解动态和

收稿日期: 2015-06-05 修订日期: 2015-07-31

基金项目: 广西自然科学基金(2015GXNSFBA139062, 2013GXNSFBA019049); 广西大学科研基金项目(XJZ130368); 国家现代农业产业技术体系广西创新团队建设(nycytxgxcxtd-03-10, nycytxgxcxtd-04-18-2); 广西“特聘专家”工程专项经费(2013B015)

\* 通信作者 E-mail: liuxiaoliang2007@163.com

残留行为还未见报道。本研究在确立抑霉唑分析方法的基础上,2014 年在广西、海南两地进行了抑霉唑作为保鲜剂使用在香蕉上的残留消解动态及最终残留试验,对其安全性进行了初步研究,旨在为抑霉唑作为保鲜剂在香蕉上安全使用及我国政府对抑霉唑在香蕉上 MRL 值的制定提供基础数据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器和试剂

安捷伦 7890A 气相色谱仪,带 uECD 检测器(美国,Agilent 公司);Vortex-Genie2 漩涡混合仪(美国 Scientific Industries 公司);Sigma 3K13 离心机(德国 Sigma 公司);Milli-Q 超纯水仪(美国 Millipore 公司)。

抑霉唑标准品(98.0%,德国 Dr. Ehrenstorfer 公司);30%咪鲜·抑霉唑水乳剂(咪鲜胺 20%,抑霉唑 10%;广东金农达生物科技有限公司);乙腈(色谱纯,美国 Fisher Scientific 公司);NaCl,无水 MgSO<sub>4</sub>(分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司,500℃烘 5 h);N-丙基二乙胺(Primary-secondary amine PSA)吸附剂(美国,Agilent 公司)。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 消解动态试验

在果实成熟度达 75%~85%时,用 30%咪鲜·抑霉唑水乳剂稀释 400 倍(抑霉唑 250 mg/kg)浸果 1 min,以药液完全浸没果为宜,浸果过程中要不断搅拌药液,每重复用药液 20 L,浸果 5~7.5 kg,3 次重复。于施药后 1 h、12 h、1 d、3 d、7 d、10 d、14 d 采集香蕉果实样品,分别在 12~14℃避光条件下保鲜恒温贮藏和室内自然温度下保鲜贮藏,以清水处理为对照,测定部位为香蕉全果。

#### 1.2.2 最终残留试验

最终残留试验设低剂量(30%咪鲜·抑霉唑水乳剂稀释 600 倍,抑霉唑 166.7 mg/kg)和高剂量(30%咪鲜·抑霉唑水乳剂稀释 400 倍,抑霉唑 250 mg/kg)。浸果处理方法同 1.2.1。于施药后 3、7 和 14 d 采集香蕉果实样品,样品贮藏同 1.2.1,测定部位为香蕉全果样品和香蕉蕉肉样品。

#### 1.2.3 农药标准液的配制

准确称取抑霉唑标准品 0.01 g(精确至 0.000 1 g)于 10 mL 容量瓶中,以乙腈定容,配制成 1 000 mg/L

标准储备溶液,于-20℃保存。使用前用乙腈稀释成不同浓度的标准工作液,4℃保存,备用。

#### 1.2.4 样品前处理

称取样品 10 g 于 50 mL 离心管中,加入乙腈 10 mL,涡旋 2 min,加入 1 g NaCl、4 g 无水 MgSO<sub>4</sub>,涡旋 2 min,4 500 r/min 离心 5 min,取上清液 1 mL 于含有 150 mg 无水 MgSO<sub>4</sub> 和 20 mg PSA 的 2 mL 离心管中,涡旋 30 s,10 000 r/min 离心 1 min,取上清液用 0.22 μm 有机滤膜过滤于进样小瓶,待测。

#### 1.2.5 色谱条件

Agilent 7890A-uECD;载气为 N<sub>2</sub>;DB-1701 色谱柱 30 m×0.25 μm×0.25 mm;柱流速 1 mL/min;进样口温度 270℃;检测器温度 300℃;升温程序:150℃保持 1 min,再以 20℃/min 升至 260℃保持 3 min,最后以 15℃/min 升至 270℃保持 5 min;进样量 1 μL。

## 2 结果与分析

### 2.1 样品前处理

本试验采用 QuEChERS 方法对样品进行提取和净化,乙腈可完全萃取香蕉全果和果肉中的抑霉唑,PSA 对萃取液中的共提物除杂效果良好,能达到理想的提取和净化效果。

### 2.2 方法验证

#### 2.2.1 校正曲线、方法检出限与定量限

采用外标法定量,用乙腈配制 0.002、0.02、0.2、0.5、1、2、5 mg/kg 的抑霉唑标准液,同时以空白基质提取液配制相同浓度梯度的基质匹配标准液,以质量浓度( $x$ )为横坐标、峰面积( $y$ )为纵坐标制作标准曲线图。得到溶剂标准曲线方程为  $y = 27\ 913x - 1\ 647.8$ ,相关系数  $r = 0.999\ 0$ ,全果基质标准曲线方程为  $y = 47\ 473x - 4\ 418.4$ , $r = 0.995\ 8$ ,果肉基质标准曲线方程为  $y = 46\ 304x - 5\ 332.1$ , $r = 0.994\ 5$ 。以  $ME = \text{Slope } i / \text{Slope } 0$  ( $ME$  为基质效应,  $\text{Slope } i$  为基质匹配标准曲线的斜率,  $\text{Slope } 0$  为纯溶剂标准曲线的斜率)评价基质效应<sup>[16]</sup>,抑霉唑在香蕉全果和蕉肉基质中均表现出基质增强效应。以信噪比  $S/N = 10$  计算得出抑霉唑在香蕉全果和果肉中的定量限(LOQ)分别为 2 μg/kg 和 1 μg/kg,以信噪比  $S/N = 3$  计算得出抑霉唑在香蕉全果和果肉中的检出限(LOD)分别为 0.6 μg/kg 和 0.4 μg/kg。结果见表 1。

### 2.2.2 方法准确度和精密度评价

方法的准确度和精密度用添加回收率试验评价,采用低、中、高 3 个浓度进行添加回收率试验,每个浓度 5 次重复。结果表明在 0.02、0.2、2 mg/kg 3 个添加水平下,抑霉唑在香蕉全果和果肉的回收率分别在 98.7%~107.6%和 94.7%~106.2%之间(表 1),相对标准偏差分别在 1.0%~4.6%和 2.3%~7.4%之间,方法的准确度和精密度均符合农药残留分析的要求。抑霉唑色谱图见图 1。

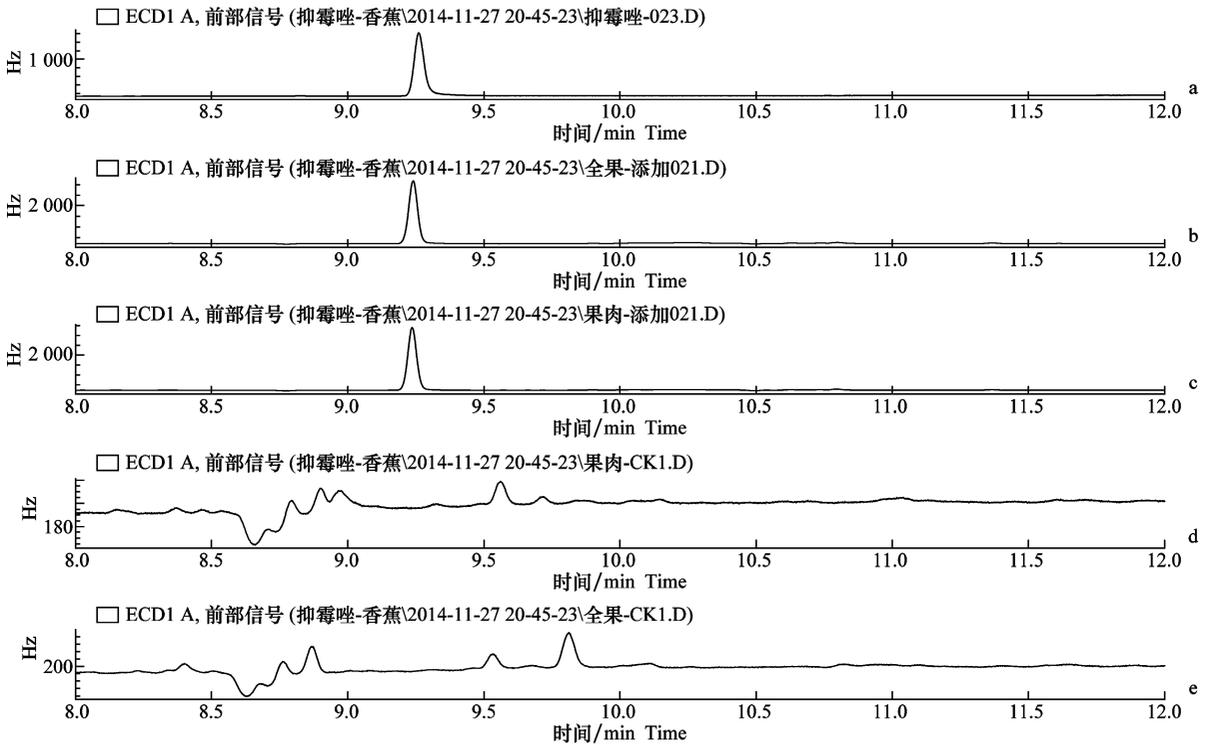
表 1 抑霉唑在香蕉基质中的方法学数据<sup>1)</sup>

Table 1 Methodology validation of imazalil in banana matrix

样品 Sample	添加浓度/ mg · kg <sup>-1</sup> Spiked level	回收率/% Recovery	定量限/ μg · kg <sup>-1</sup> LOQ	检出限/ μg · kg <sup>-1</sup> LOD
全果 Whole banana	0.02	107.6±1.0		
	0.2	107.1±4.6	2	0.6
	2	98.7±3.4		
果肉 Banana flesh	0.02	94.7±2.6		
	0.2	106.2±2.3	1	0.4
	2	98.6±7.4		

1) 表中数据为 5 个重复的平均回收率±SD。

Data in the table are mean±SD.



a: 抑霉唑标准品 0.2 mg/L; b: 全果添加 0.2 mg/kg; c: 果肉添加 0.2 mg/kg; d: 果肉空白; e: 全果空白  
a: Gas chromatograms of imazalil standard 0.2 mg/L; b: Whole banana spiked 0.2 mg/kg; c: Banana pulp spiked 0.2 mg/kg; d: Blank banana pulp; e: Blank whole banana

图 1 0.2 mg/L 抑霉唑标准品及添加于香蕉基质中的色谱图

Fig. 1 Gas chromatograms of 0.2 mg/L imazalil standard and banana matrix spiked at 0.2 mg/L

### 2.3 消解动态

抑霉唑在香蕉中的消解符合一级反应动力学方程。消解方程、相关系数和消解半衰期见表 2。室内自然温度条件下,广西和海南试验点香蕉中抑霉唑原始沉积量分别是 1.848 mg/kg 和 1.657 mg/kg,消解半衰期在广西是 10.2 d,海南是 8.9 d。12~14℃恒温贮藏条件下广西和海南试验点香蕉中抑霉唑原始沉积量分别是 1.788 mg/kg 和 1.596 mg/kg,消解半衰期在广西和海南均是 13.3 d。

### 2.4 最终残留量

抑霉唑在香蕉上的最终残留量对其在香蕉上的

风险评估有着重要意义。试验结果表明,不论在室内自然温度还是 12~14℃恒温贮藏条件下,抑霉唑在广西和海南试验点香蕉果肉中均未被检出;而在香蕉全果样品中均有检出。低剂量施用后最终残留量在 0.393~0.839 mg/kg 之间,高剂量使用最终残留量在 0.450~0.987 mg/kg 之间。虽然香蕉全果样品中检出了抑霉唑,但其含量未超过欧盟、CAC、英国和韩国规定的抑霉唑在香蕉上 MRL 值 (2.0 mg/kg),因此抑霉唑作为保鲜剂在香蕉上使用是安全的。

表 2 不同贮藏条件下香蕉中抑霉唑的消解动态

Table 2 Degradation dynamics and half lives of imazalil in banana under different storage conditions

时间 Time	室内自然温度 Room temperature				12~14℃			
	广西 Guangxi		海南 Hainan		广西 Guangxi		海南 Hainan	
	残留量/ mg·kg <sup>-1</sup> Residue	消解率/% Degradation rate						
1 h	1.848	—	1.657	—	1.788	—	1.596	—
12 h	1.668	9.7	1.566	5.5	1.667	6.8	1.472	7.8
1 d	1.435	22.3	1.459	11.9	1.543	13.7	1.234	22.7
3 d	1.298	29.8	1.203	27.4	1.305	27.0	1.063	33.4
7 d	0.916	50.4	0.938	43.4	1.119	37.4	0.910	43.0
10 d	1.802	56.6	0.760	54.1	1.028	42.5	0.861	46.1
14 d	0.700	62.1	0.531	68.0	0.811	54.6	0.707	55.7
回归方程 Regression equation	$y=1.6475e^{-0.0679x}$		$y=1.6051e^{-0.0780x}$		$y=1.6652e^{-0.0520x}$		$y=1.4062e^{-0.0522x}$	
相关系数 Correlation coefficient	0.9479		0.9946		0.9660		0.9045	
半衰期 Half-life	10.2		8.9		13.3		13.3	

表 3 抑霉唑在香蕉全果和果肉的最终残留量

Table 3 The residue of imazalil in the whole banana and the pulp

剂量/ mg·kg <sup>-1</sup> Dosage	采收 间隔/d Harvest interval	室内自然温度 Room temperature				12~14℃			
		广西 Guangxi		海南 Hainan		广西 Guangxi		海南 Hainan	
		果肉残 留量/ mg·kg <sup>-1</sup> Residue in banana pulp	全果 残留量/ mg·kg <sup>-1</sup> Residue in whole banana	果肉残 留量/ mg·kg <sup>-1</sup> Residue in banana pulp	全果 残留量/ mg·kg <sup>-1</sup> Residue in whole banana	果肉残 留量/ mg·kg <sup>-1</sup> Residue in banana pulp	全果 残留量/ mg·kg <sup>-1</sup> Residue in whole banana	果肉残 留量/ mg·kg <sup>-1</sup> Residue in banana pulp	全果 残留量/ mg·kg <sup>-1</sup> Residue in whole banana
300	3	<0.001	0.812	<0.001	0.744	<0.001	0.812	<0.001	0.839
	7	<0.001	0.558	<0.001	0.521	<0.001	0.717	<0.001	0.748
	14	<0.001	0.513	<0.001	0.393	<0.001	0.617	<0.001	0.605
450	3	<0.001	0.904	<0.001	0.938	<0.001	0.978	<0.001	0.987
	7	<0.001	0.744	<0.001	0.728	<0.001	0.858	<0.001	0.838
	14	<0.001	0.559	<0.001	0.450	<0.001	0.677	<0.001	0.653

### 3 结论与讨论

本试验采用 QuEChERS 方法对抑霉唑在香蕉中的残留进行了分析和样品检测,试验结果表明该方法是一种快速,高效的残留分析方法。本试验明确了抑霉唑作为保鲜剂在香蕉上使用后的消解特性和最终残留量,在该试验条件下,抑霉唑在香蕉中的半衰期在室内自然温度下为 8.9~10.2 d,12~14℃恒温条件下为 13.3 d,香蕉果肉中未有抑霉唑残留检出,香蕉全果抑霉唑的最终残留量在 0.393~0.987 mg/kg 之间,未超出欧盟、CAC、英国和韩国规定的抑霉唑在香蕉中的 MRL 值,抑霉唑在推荐剂量下作为保鲜剂在香蕉上使用对香蕉安全。

本试验前处理采用乙腈提取,PSA 净化能达到理想的提取和净化效果,该结果与徐小艳等<sup>[1]</sup>、谢建军

等<sup>[10]</sup>的报道一致。采用 QuEChERS 对一种药剂在多种基质或多种药剂在多种基质中进行残留分析时,经常需要使用酸化乙腈提取,同时以 PSA 与 C<sub>18</sub>、石墨化炭黑(GCB)或 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等吸附剂配合使用才能达到理想的净化效果<sup>[17-19]</sup>,而本试验是单一药剂在单一基质样品中的残留分析,因此采用原始的 QuEChERS 方法对样品进行提取和净化。在室内自然温度下,抑霉唑在海南香蕉中的半衰期小于广西,可能是海南的平均气温高于广西所致。在冷藏过程中,抑霉唑在香蕉中的半衰期在广西和海南试验点一致。抑霉唑在香蕉中的残留量随着贮存时间的延长而逐渐降低,这与抑霉唑在红毛丹<sup>[20]</sup>、梨<sup>[21]</sup>中的残留降解规律一致。

### 参考文献

[1] 徐小艳,陈巧真,梁晓瑜,等.改进的 QuEChERS-气相色谱法

- 测定果蔬保鲜剂抑霉唑残留[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 247-250.
- [2] 付新梅, 张丽静, 封顺, 等. 高效液相色谱法同时测定甜瓜样品中的抑霉唑和噻菌灵[J]. 分析化学, 2004, 32(3): 329-331.
- [3] Ruiz-Rodríguez L, Aguilar A, Díaz A N, et al. Enantioseparation of the fungicide imazalil in orange juice by chiral HPLC. Study on degradation rates and extractive/enrichment techniques [J]. Food Chemistry, 2015, 178: 179-185.
- [4] 刘杨, 周志武. 噻菌灵·戊唑醇·抑霉唑悬浮剂的高效液相色谱分析[J]. 农药, 2011, 50(8): 578-579.
- [5] 郭治安, 赵景婵, 王耀, 等. 杀菌剂中抑霉唑含量的离子对高效液相色谱分析[J]. 分析化学, 2004, 32(2): 217-220.
- [6] 于晓萍, 师明明. 种衣剂中噻菌灵、粉唑醇和抑霉唑的 RP-HPLC 法快速分析[J]. 农药, 2014, 53(9): 655-657.
- [7] 应兴华, 徐霞, 闵捷, 等. 离心破乳-气相色谱法测定黑米中残留抑霉唑的研究[J]. 分析实验室, 2009, 28(9): 59-61.
- [8] 徐国锋, 聂继云, 李静, 等. 苹果、香蕉和柑橘中腐霉利等 4 种防腐保鲜剂残留分析方法[J]. 农药学报, 2009, 11(3): 351-356.
- [9] 潘守奇, 孙军, 董静, 等. 气相色谱法测定水果和蔬菜中异丙威、啉霉胺、抑霉唑残留量[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 516-518.
- [10] 谢建军, 陈捷, 李菊, 等. 改良 QuEChERS 法结合气相色谱串联质谱测定果蔬中 20 种杀菌剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(1): 82-88.
- [11] 王玉健, 黄惠玲, 裯开智, 等. 超高效液相色谱-串联质谱测定多种食品中抑霉唑、啉霉胺、克百威、三唑磷、多菌灵的残留量[J]. 分析实验室, 2011, 30(5): 77-80.
- [12] 王玉健, 黄惠玲, 汪春光, 等. 荔枝中抑霉唑和啉霉胺残留量的超高效液相色谱-串联质谱法同时测定[J]. 分析测试学报, 2010, 29(10): 1068-1072.
- [13] Golge O, Kabak B. Determination of 115 pesticide residues in oranges by high-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry in combination with QuEChERS method [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 41: 86-97.
- [14] Yoshioka N, Akiyama Y, Teranishi K. Rapid simultaneous determination of o-phenylphenol, diphenyl, thiabendazole, imazalil and its major metabolite in citrus fruits by liquid chromatography-mass spectrometry using atmospheric pressure photoionization [J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1022: 145-150.
- [15] Zamora T, Pozo O J, López F J, et al. Determination of tridemorph and other fungicide residues in fruit samples by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1045: 137-143.
- [16] 周利, 罗逢健, 张新忠, 等. 纳米竹炭分散固相萃取/超高效液相色谱——串联质谱法测定绿茶中的农药多残留[J]. 分析测试学报, 2014, 33(6): 642-647.
- [17] 刘晓亮, 李雪生, 刘绍文, 等. 中草药中 13 种代表性农药多残留的分散固相净化与气相色谱-质谱法测定[J]. 分析化学, 2013, 41(4): 553-558.
- [18] Zhou Li, Liu Xiaoliang, Kang Shu, et al. A rapid determination method for ethylenethiourea in potato and cucumber by modified QuEChERS-High performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2013, 138: 1355-1359.
- [19] Zhao Pengyue, Wang Lei, Zhou Li, et al. Multi-walled carbon nanotubes as alternative reversed-dispersive solid phase extraction materials in pesticide multi-residue analysis with QuEChERS method [J]. Journal of Chromatography A, 2012, 1225: 17-25.
- [20] 高智席, 江忠远, 李新发, 等. 固相萃取-反相高效液相色谱法测定红毛丹中抑霉唑的残留动态[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 188-190.
- [21] 武婷, 刘波, 李楠. 杀菌剂抑霉唑在梨子中残留动态分析[J]. 分析实验室, 2007, 26(9): 81-83.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 160 页)

- [3] Isidoro N, Bin F. Male antennal gland of *Amitus spiniferus* (Brethes) (Hymenoptera: Platygasteridae), likely involved in courtship behavior [J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology, 1995, 24(4): 365-373.
- [4] 陆剑锋, 李永, 邱鸿贵, 等. 啮小蜂雌雄触角的扫描电镜观察[J]. 昆虫天敌, 2006, 28(2): 71-75.
- [5] 高宇, 王志英, 赵红盈, 等. 白蜡吉丁啮小蜂触角感觉器的扫描电镜观察[J]. 中国农业科学, 2013, 46(9): 1956-1964.
- [6] 徐晓蕊, 析金玉, 吕双双, 等. 白蛾周氏啮小蜂触角感觉器的扫描电镜观察[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(1): 42-46.
- [7] 辛星, 马子龙, 覃伟权. 椰树叶甲啮小蜂触角感觉器的扫描电镜观察[J]. 昆虫知识, 2010, 47(5): 933-937.
- [8] Keil T A. Morphology and development of the peripheral olfactory organs [M]// Hansson B S. Insect olfaction. New York: Springer-Verlag, 1999: 5-47.
- [9] Bleeker M A K, Smid H M, van Aelst A C, et al. Antennal sensilla of two parasitoid wasps: A comparative scanning electron microscopy study [J]. Microscopy Research and Technique, 2004, 63(5): 266-273.
- [10] 吴才宏. 棉铃虫雌蛾触角的毛形感器对其性信息素组分及类似物的反应[J]. 昆虫学报, 1993, 36(4): 385-389.
- [11] Schneider D. Insect antennae [J]. Annual Review of Entomology, 1964, 9: 103-122.
- [12] Barlin M R, Vinson S B. Multiporous plate sensilla in antennae of the chalcidoidea (Hymenoptera) [J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology, 1981, 10(1): 29-42.

(责任编辑: 杨明丽)