杀虫单在甘蔗和土壤中的残留行为和风险评估研究

郇志博*， 罗金辉， 谢德芳

（中国热带农业科学院分析测试中心，海南省热带果蔬产品质量安全重点实验室，海口 571101）

摘要 为了确保杀虫单在甘蔗上的安全科学使用，本研究分别于2015和2016年度在海南和广西开展了9%杀虫单颗粒剂在甘蔗和土壤中的残留消解试验和最终残留试验。残留消解试验结果表明，杀虫单在甘蔗植株中的半衰期为17.3～30.1 d，在土壤中的半衰期为1.7 d；最终残留试验结果表明，杀虫单在甘蔗蔗梢、蔗茎和土壤中的最终残留皆低于LOQ(0.02 mg/kg)。综上，在甘蔗苗期按照3 375 g/hm^{2}沟施9%杀虫单颗粒剂1次，甘蔗蔗梢和蔗茎中杀虫单的最终残留低于我国的限量标准，对人类的暴露风险较低；而且土壤中杀虫单残留对非靶标生物蚯蚓的环境风险也较低。

关键词 杀虫单； 甘蔗； 残留行为； 风险评估

中图分类号： S 481.8 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2018272

Residue behavior and risk assessment of monosultap in sugar cane and soil

HUAN Zhibo， LUO Jinhui， XIE Defang

（*Analysis and Testing Center*, *Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences*, *Hainan Provincial Key Laboratory of Quality and Safety for Tropical Fruits and Vegetables*, *Haikou* 571101, *China*）

Abstract To ensure the safety use of monosultap on sugar cane, the residue dynamic and final residue experiments of monosultap 9% GR in sugar cane and soil were conducted in Hainan and Guangxi during 2015 and 2016. The results showed that the half-lives were 17.3－30.1 d and 1.7 d in sugar cane plant and soil, respectively; the final residues in shoots, stalks and soils were all below LOQ (0.02 mg/kg). In conclusion, after furrow application of monosultap 9% GR at 3 375 g/hm^2 for once in sugar cane seedling stage, the final residue of monosultap in sugar cane shoots and stalks satisfied the MRL standard in China and the dietary exposure risk to human was low. Additionally, the environmental risk to earthworm was also low.

Key words monosultap; sugar cane; residue behavior; risk assessment

甘蔗是一种重要的糖类作物和经济作物，蔗糖是我国食糖的主要来源，占食糖总量的92%以上[1]，根据我国农业农村部农作物数据库的记录，我国2016年甘蔗的种植面积为150万hm^2，产量为11 380万t，产量仅次于巴西和印度[1-2]。尽管我国甘蔗的平均产量(74.6 t/hm^2)要比世界甘蔗的平均产量(70.6 t/hm^2)高，但是我国甘蔗产业的发展受到许多问题的制约，其中一个重要问题就是病虫害带来的成本上升[1,3]。甘蔗绵蚜 *Ceratovacuna lanigera* Zehntner 和条螟 *Proceras venosatum* (Walker)是我国甘蔗上的两种主要害虫，罗素兰等[4]调查发现甘蔗绵蚜在我国的各个蔗区普遍发生且为害严重，甚至使蔗糖产量减少40%；韦茂春等[5]发现甘蔗条螟为害甘蔗后会造成甘蔗缺苗断垄，同时还会降低原料蔗的含糖量，若不进行防治，一般可造成甘蔗20%～40%的产量损失，严重时可达60%～70%。甲拌磷、甲基异柳磷、特丁硫磷和克百威等高剧毒农药过去是甘蔗上的常用药剂[5]，但随着农业农村部对这些高剧毒农药的禁用[6]，为甘蔗筛选低毒、高效杀虫剂的需求越来越迫切。

杀虫单(monosultap)(图1)是20世纪70年代我国自行创制的农药品种，是沙蚕毒素类杀虫剂，它杀虫谱广，具有强烈的胃毒、触杀和内吸作用[7]。自2004年国家禁止5种高毒有机磷农药的应用后，杀

收稿日期： 2018－06－24 **修订日期**： 2018－07－05
基金项目： 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金(1630082017005)
* 通信作者 E-mail:huanzhibo@163.com

虫单已成为有机磷农药的主要替代品,广泛用于防治稻田、蔬菜、甘蔗、柑橘等的虫害[8]。许多文献已经证明杀虫单对甘蔗蚜虫和螟虫具有优异的防效[5,9-10]。作为一种国产药剂,杀虫单在水稻[11-14]、烟草[15]、小白菜[16]、番茄和黄瓜[17]等作物上的残留分析方法报道的较多,但关于杀虫单在各种作物上的残留行为的研究较少,目前仅能查到杀虫单在水稻[11-14]和小白菜[16]上的残留行为研究,因此基于杀虫单对甘蔗虫害优异的防效,研究杀虫单在甘蔗上的残留行为和使用风险,对杀虫单在甘蔗上的安全使用意义重大。

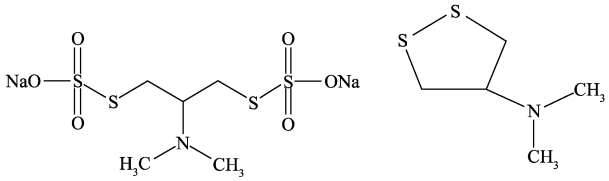


图 1　杀虫单和沙蚕毒素的化学结构

Fig. 1　Chemical structures of monosultap and nereistoxin

1　材料与方法

1.1　试验材料

安捷伦气相色谱仪 Agilent 7890A 配备 ECD 检测器;T25 型匀浆机,艾卡(广州)仪器设备有限公司;RE52CS-1 旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器厂;SHZ-B 水浴恒温振荡器,常州诺基仪器有限公司;TDL-40B 低速台式离心机,上海安亭科学仪器厂;H. H. S4 电热恒温水浴锅,上海浦东跃欣科学仪器厂。

100 μg/mL 杀虫单标准品、9%杀虫单颗粒剂由中国热带农业科学院环境与植物保护研究所提供。100 μg/mL 沙蚕毒素标准品,农业农村部环境保护科研监测所;分析纯甲苯、NaOH、$Na_2S\cdot 9H_2O$,广州化学试剂厂;36%～38%浓盐酸,广州化学试剂厂。

1.2　田间试验

按照《农药残留试验准则》[18]和《农药登记残留田间试验标准操作规程》[19],于 2015－2016 年分别在海南和广西两地进行了 9%杀虫单颗粒剂在甘蔗上的消解动态和最终残留试验。每个小区 30 m^2,每个处理 3 个重复,随机排列,小区间设保护带,另设置对照区。推荐施药时期及方法:甘蔗苗期沟施于甘蔗根部附近并覆土;推荐施药剂量和次数:3 375 g/hm^2(制剂量 2 500 g/667 m^2)施药 1 次;安全间隔期为收获期。

1.2.1　消解动态试验

杀虫单在甘蔗植株和土壤中的消解动态试验采用 1 次施药多次采样的方法。施药剂量为 5 062.5 g/hm^2(制剂量 3 750 g/667 m^2)。分别于施药后的 2 h、1 d、3 d、5 d、7 d、10 d、14 d、21 d、28 d、42 d、60 d、收获期采集甘蔗植株样品,于施药后的 2 h、1 d、3 d、5 d、7 d、10 d、14 d、21 d、28 d、42 d、60 d、90 d、收获期采集土壤样品。采集甘蔗植株样品时,在小区内随机多点采 10 株以上甘蔗地上部分,去除干枯的叶片,混匀后取约 1 kg 以上切成 1 cm 以下小段,充分混匀,四分法缩分取 2 份,每份 150 g,装入封口袋,做好标签,在－20℃冰箱中保存。采集土壤样品时按棋盘式选择 6～12 个点,每点以往复旋转的方式将土钻压入 15 cm 深度,拔出土钻,使土钻侧槽开口朝上,用改锥去掉尖端刻度以下部分的土样和土钻外部附着的土壤,将土钻中的土壤样品撬到不锈钢盆中,每小区每次采集土壤样本 1～2 kg,在不锈钢盆中去除碎石、杂草和根茎等杂物,将采集的样本装入塑料袋。将采集的土壤样品碾碎后过筛,充分混匀后,用四分法分取 200～300 g 样品 2 份,分别装入封口袋中,在－20℃冰箱中保存。

1.2.2　最终残留试验

设低剂量 3 375 g/hm^2(制剂量 2 500 g/667 m^2)和高剂量 5 062.5 g/hm^2(制剂量 3 750 g/667 m^2)两个施药剂量,每个剂量分别施药 1 次和 2 次,施药间隔期 30 d,收获期采样。最终残留试验需要采集甘蔗的蔗茎和蔗梢,在小区内随机多点采 10 株以上甘蔗地上全株,取蔗茎上、中、下部分混成 2 kg 蔗茎样品,蔗梢缩分后取样品约 1 kg 以上,两种样品都需要切成 1 cm 以下小段,分别充分混匀,四分法缩分各取 150 g 2 份,装入封口袋,做好标签,在－20℃冰箱中保存。土壤样品的采集方法和处理方法同 1.2.1。

1.3　提取和净化

甘蔗植株、蔗梢和蔗茎样品:称取 5.0 g 样品,置于 50 mL 离心管中,加入 30 mL 0.1 mol/L HCl 溶液,振荡提取 30 min,4 000 r/min 离心 15 min,将上清液转移到一个新的 50 mL 的离心管中,用 1.0 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH 到 8.5～9,再加 1 mL 1 mol/L Na_2S 水溶液,剧烈振荡 2 min,70℃反应 2.5 h,然后加入 5 mL 甲苯,剧烈振荡 2 min,4 000 r/min 离心

10 min，吸取上清液 1 mL 于进样瓶中，待 GC-ECD 测定。

土壤样品：称取 5.0 g 样品，置于 50 mL 离心管中，加入 30 mL 0.1 mol/L HCl 溶液，振荡提取 30 min，4 000 r/min 离心 5 min，将上清液转移到一个新的 50 mL 的离心管中，用 1.0 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH 到 8.5～9，再加 1 mL 1 mol/L Na_2S 水溶液，剧烈振荡 2 min，70℃反应 2.5 h，然后加入 5 mL 甲苯，剧烈振荡 2 min，4 000 r/min 离心 5 min，吸取上清液 1 mL 于进样瓶中，待 GC-ECD 测定。

1.4 分析测定

色谱柱：Agilent DB-1(30 m×0.32 mm×1.0 μm)；载气：N_2；进样口：250℃；检测器温度：300℃；柱升温程序：60℃保持 1 min，20℃/min 升到 180℃保持 1 min，15℃/min 升到 280℃保持 10 min；载气流速：2 mL/min；尾吹：25 mL/min；不分流模式；进样量：1 μL；沙蚕毒素的保留时间约为 8.3 min。

1.5 数据分析

杀虫单在甘蔗和土壤中的消解动态采用一级动力学方程进行模拟：

$$C_t = C_0 \times e^{-kt}$$

式中，C_t 是 t(天)时间时的农药残留浓度(mg/kg)，C_0 是初始沉积量(mg/kg)，k 是速率常数；消解半衰期 $t_{1/2}=\ln 2/k$。

2 结果与分析

2.1 线性范围与检出限

以杀虫单的添加浓度与 GC-ECD 的响应峰面积做标准曲线，得到杀虫单在 4 种基质中的标准曲线及相关系数：土壤，$y=6\ 378.30x+53.24$($R^2=1.000$)；甘蔗植株和蔗梢，$y=1\ 156.20x-5.84$($R^2=0.999$)；蔗茎，$y=2\ 266.90x+3.23$($R^2=0.997$)，表明在 0.02～0.5 mg/kg 的浓度范围内，杀虫单在 4 种基质中的浓度与 GC-ECD 的响应峰面积呈现良好的线性关系，用该 4 个标准曲线定量土壤、甘蔗植株、蔗梢和蔗茎样品中杀虫单的残留量。

方法的灵敏度用最小检出量和最低检出浓度表示，参照 Song 等[20]的文献，杀虫单的最小检出量(LOD)被设为使检测系统产生 3 倍噪音信号的标准品的浓度，为 0.01 mg/kg；杀虫单的最低检出浓度(LOQ)被设为最低添加水平，为 0.02 mg/kg；该方法的 LOQ 低于我国设定的杀虫单在甘蔗上的 MRL 0.1 mg/kg，因此满足下一步的样品检测。

2.2 添加回收率与相对标准偏差

在甘蔗植株、蔗茎、蔗梢和土壤样品中分别添加一定体积的杀虫单标准溶液，混匀，使杀虫单的最终添加浓度为 0.02、0.1、0.5 mg/kg，每一个添加浓度包含 5 个平行样，然后按照 1.3 和 1.4 分析测定，并计算添加回收率和相对标准偏差。结果表明，当添加水平为 0.02～0.5 mg/kg 时，杀虫单在甘蔗植株和蔗梢中的添加回收率为 87.7%～108.0%，RSD 为 0.5%～2.4%；在甘蔗蔗茎中的添加回收率为 79.9%～109.8%，RSD 为 0.7%～5.9%；在土壤中的添加回收率为 91.3%～102.5%，RSD 为 0.5%～2.1%。根据 NY/T788-2004《农药残留试验准则》[18]的要求，本试验建立的测定甘蔗植株、蔗梢、蔗茎和土壤中杀虫单的检测方法在准确度、精密度方面达到要求。

2.3 杀虫单在甘蔗植株和土壤中的消解动态

杀虫单在甘蔗植株和土壤中的消解均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结果见表 1，试验结果表明：施药后甘蔗植株中杀虫单的原始沉积量，海南试验点为 0.061～0.065 mg/kg，广西试验点为 0.045～0.050 mg/kg；土壤中杀虫单的原始沉积量，海南试验点为 1.158～1.243 mg/kg，广西试验点为 1.147～1.166 mg/kg；随着时间的延长，杀虫单在甘蔗植株和土壤中的残留量逐渐降低，杀虫单在甘蔗植株中的半衰期 $t_{1/2}$，海南试验点为 17.3～19.3 d，广西试验点为 26.7～30.1 d；杀虫单在土壤中的半衰期 $t_{1/2}$，海南试验点和广西试验点皆约为 1.7 d。

从半衰期数据可以看出，杀虫单在土壤中使用后降解得非常快，这与 Zhang 等[11]的研究结果(水稻土壤中杀虫单半衰期为 1.4～2.1 d)一致，但杀虫单在甘蔗植株中的半衰期相对较长，Zhang 等[11]测定杀虫单在水稻植株中的半衰期为 1.3～2.1 d，彭小悦等[12]测定杀虫单在水稻植株中的半衰期为 11.06 d，魏丹等[16]测定杀虫单在小白菜中的半衰期为 3.5～4.0 d。通过分析我们发现，虽然土壤中杀虫单的半衰期为 1.7 d，但是土壤中杀虫单的残留水平在第 10 天仍然处于较高水平(0.1 mg/kg 左右)，而甘蔗植株中的杀虫单达到峰值恰是从第 10 天开始(0.045～0.065 mg/kg)，一直持续到第 42 天才低于定量限(<0.02 mg/kg)，由于上述几篇文献杀虫单的施用

方式皆为茎叶喷雾,而本研究为土壤沟施,甘蔗植株中的杀虫单是通过甘蔗从土壤中吸收而来,因此推测杀虫单在甘蔗植株中相对较长的半衰期可能与杀虫单的施用方式(土壤处理)有关。

表 1　杀虫单在甘蔗植株和土壤中的消解动态

Table 1　Dissipation dynamics of monosultap in sugar cane plant and soil

样品 Sample	地点 Location	试验年份 Year	原始沉积量/mg·kg^{-1} Original deposition	消解动态方程 Dissipation dynamic equation	相关系数(R^2) Correlation coefficient	半衰期($t_{1/2}$)/d Half-life
植株 Plant	海南 Hainan	2015	0.065	$C=0.091e^{-0.041t}$	0.904	17.3
		2016	0.061	$C=0.081e^{-0.036t}$	0.941	19.3
	广西 Guangxi	2015	0.045	$C=0.047e^{-0.023t}$	0.970	30.1
		2016	0.050	$C=0.056e^{-0.026t}$	0.918	26.7
土壤 Soil	海南 Hainan	2015	1.243	$C=2.515e^{-0.411t}$	0.909	1.7
		2016	1.158	$C=2.274e^{-0.405t}$	0.898	1.7
	广西 Guangxi	2015	1.147	$C=2.263e^{-0.402t}$	0.901	1.7
		2016	1.166	$C=2.303e^{-0.404t}$	0.905	1.7

2.4　杀虫单在甘蔗蔗梢、蔗茎和土壤中的最终残留量

甘蔗蔗梢、蔗茎和土壤中杀虫单的最终残留量对杀虫单在甘蔗上的安全使用具有重要意义。表 2 显示了海南和广西两地 2015—2016 年度,分别施用 9%杀虫单颗粒剂 5 062.5 g/hm^2 和 3 375 g/hm^2 1 次和 2 次,在收获期时甘蔗蔗梢、蔗茎和土壤中的最终残留量,结果表明无论是施用高剂量还是低剂量,无论是在海南还是广西,在收获期时甘蔗蔗梢、蔗茎和土壤中杀虫单的最终残留量都要低于定量限 0.02 mg/kg。

表 2　2015、2016 年广西、海南蔗茎、蔗梢、土壤中杀虫单的最终残留量

Table 2　Final residues of monosultap in sugar cane stalks, shoots and soils in two locations in 2015 and 2016

省份 Location	年份 Year	施药剂量/g·(hm^2)$^{-1}$ Application dosage	施药次数 Application times	最终残留量/mg·kg^{-1} Final residues		
				蔗茎 Stalk	蔗梢 Shoot	土壤 Soil
海南 Hainan	2015	5 062.5	1	< 0.02	< 0.02	< 0.02
			2	< 0.02	< 0.02	< 0.02
		3 375.0	1	< 0.02	< 0.02	< 0.02
			2	< 0.02	< 0.02	< 0.02
	2016	5 062.5	1	< 0.02	< 0.02	< 0.02
			2	< 0.02	< 0.02	< 0.02
		3 375.0	1	< 0.02	< 0.02	< 0.02
			2	< 0.02	< 0.02	< 0.02
广西 Guangxi	2015	5 062.5	1	< 0.02	< 0.02	< 0.02
			2	< 0.02	< 0.02	< 0.02
		3 375.0	1	< 0.02	< 0.02	< 0.02
			2	< 0.02	< 0.02	< 0.02
	2016	5 062.5	1	< 0.02	< 0.02	< 0.02
			2	< 0.02	< 0.02	< 0.02
		3 375.0	1	< 0.02	< 0.02	< 0.02
			2	< 0.02	< 0.02	< 0.02

2.5　风险评估

为了科学评价 9%杀虫单颗粒剂在甘蔗上使用后的风险,本试验分别从健康风险和环境风险两个方面进行了评价,健康风险主要评价了杀虫单对不同人群的慢性暴露风险,具体评估方法参照 WHO 开发的 IEDI(International Estimated Daily Intake)计算模板[21],其中残留数据为本试验甘蔗蔗梢和蔗茎中杀虫单的残留中值(0.02 mg/kg),膳食消费数据为 GEMS/Food 收录的中国所属的 G09 类人群甘蔗的平均消费量 4.27 g/(人·d),体重为 G09 类人群的平均体重 55 kg,计算得到 IEDI 为 1.6×10^{-6} mg/kg bw,杀虫单的 ADI 为 0.01 mg/kg bw,IEDI 占 ADI 的比例为 0.016%,比值远低于 100%,表明在甘蔗苗期按照剂量 3 375～5 062.5 g/hm^2 沟施 9%的杀虫单颗粒剂 1～2 次,收获期甘蔗中的杀虫单残留对人类健康的慢性暴露风险非常低。

杀虫单对非靶标生物的环境风险按照风险商(RQ)的方法进行评价[22],RQ≤0.01 表示低风险,0.01<RQ≤0.1 表示中等风险,0.1<RQ≤1 表示高风险,RQ>1 表示非常高风险。由于本文中的杀虫单是作为土壤处理剂,因此主要对土壤生物可能存在一定的环境风险,因此本文选择土壤中的模式生物蚯蚓 *Eisenia foetida* 作为研究对象,估计杀虫单使用后在土壤中的残留对土壤生物蚯蚓的暴露风险,杀虫单对蚯蚓 14 d 的 LC_{50} 为 43 mg/kg 干土[23],杀虫单浓度选择消解动态试验土壤中杀虫单的原始沉积量 1.147~1.243 mg/kg,经计算 RQ 为 0.027~0.029,按照 RQ 分级属于中等风险,但是在消解试验中,杀虫单的浓度随着时间延长逐渐降低,在第 7 天残留浓度已经低于 0.4 mg/kg,即 RQ 小于 0.01,因此在甘蔗苗期按照剂量 5 062.5 g/hm^2 沟施 9%的杀虫单颗粒剂 1 次对土壤生物蚯蚓的风险也较低。

3 结论

在甘蔗苗期按照有效剂量 3 375 g/hm^2 沟施 9%的杀虫单颗粒剂 1 次,甘蔗蔗梢和蔗茎中杀虫单的最终残留低于我国制定的杀虫单在甘蔗中的限量标准(0.1 mg/kg),而且甘蔗蔗梢和蔗茎中杀虫单的最终残留对人类的慢性暴露风险非常低,土壤中残留的杀虫单对非靶标生物蚯蚓的环境风险也较低。

参考文献

[1] 李明,田洪春,黄智刚. 我国甘蔗产业发展现状研究[J]. 中国糖料,2017,39(1):67-70.

[2] 农作物数据库[EB/OL]. [2018-06-22]. http://zzys.agri.gov.cn/nongqing.aspx.

[3] RAMASUBRAMANIAN T, PARAMASIVAM M, JAYANTHI R, et al. Persistence and dissipation kinetics of chlorantraniliprole 0.4G in the soil of tropical sugarcane ecosystem [J]. Environmental Monitoring Assessment, 2013, 188: 33.

[4] 罗素兰,赵顺旺,长孙东亭. 海南海口地区甘蔗蚜虫种类的调查[J]. 海南师范学院学报(自然科学版),2003,16(2):84-87.

[5] 韦茂春,周洁成,赖开平,等. 噻虫嗪与杀虫单混配对黄螟的增效作用和田间防效[J]. 农学学报,2015,5(8):40-43.

[6] 中华人民共和国农业部公告第 1586 号[EB/OL]. [2018-06-22]. http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/gg/201107/t20110705_2045813.htm.

[7] 郑尊涛,吴慧明,施海燕,等. 杀虫单在土壤及水稻中的残留分析方法研究[J]. 浙江农业学报,2004,16(2):92-95.

[8] 梁少华,陈晓琴,潘瑞辉,等. 杀虫单原药对大鼠的亚慢性毒性研究[J]. 应用预防医学,2009,15(2):106-108.

[9] 潘方胤,杨俊贤,安玉兴,等. 新型低毒农药 5%杀单·毒死蜱对甘蔗螟虫防治效果试验[J]. 甘蔗糖业,2011(2):38-41.

[10] 许焕明,周泽秀,吴雪芳. 0.5%吡虫啉·杀虫单缓释粒剂防治甘蔗害虫田间药效试验[J]. 农药研究与应用,2015(6):33-37.

[11] ZHANG F Z, WANG L, ZHOU L, et al. Dissipation and residues of monosultap in rice plant and environment [J]. Bulletin Environmental Contamination and Toxicology, 2012, 88: 362-367.

[12] 彭小悦,龚道新,龙勇,等. 40%杀虫单可湿性粉剂在水稻-稻田系统中的残留研究[J]. 湖南农业科学,2009(11):79-80.

[13] 陈红平,刘新,汪庆华,等. 杀虫单在水稻及稻田中的残留动态研究[J]. 浙江农业科学,2009(2):410-414.

[14] 唐晶,龚道新,张素芳,等. 杀虫单在稻田水、土壤及水稻植株中的残留动态研究[J]. 湖南农业科学,2013(1):88-90.

[15] 孙惠青,徐光军,李义强,等. 烟草中杀虫单残留分析方法研究[J]. 中国烟草科学,2009,30(1):35-37.

[16] 魏丹,孙扬,徐应明,等. 杀虫单在小白菜和土壤中的残留及消解动态研究[J]. 环境化学,2011,30(11):1926-1930.

[17] 田春霞,兰美静,马友宁,等. 番茄、黄瓜及土壤中杀虫单总残留量的超高效液相色谱-电喷雾串联质谱检测[J]. 农药学学报,2014,16(2):174-178.

[18] 中华人民共和国农业部. NY/T 788-2004 农药残留试验准则[S]. 北京:中国农业出版社,2004.

[19] 王运浩,季颖,龚勇,等. 农药登记残留田间试验标准操作规程[M]. 北京:中国标准出版社,2007:43-47.

[20] SONG W T, ZHANG Y Q, LI G J, et al. A fast, simple and green method for the extraction of carbamate pesticides from rice by microwave assisted steam extraction coupled with solid phase extraction [J]. Food Chemistry, 2014, 143: 192-198.

[21] WHO. Template for the evaluation of acute exposure (IESTI) and chronic exposure (IEDI)[EB/OL]. [2018-05-10]. http://www.who.int/foodsafety/areas_work/chemical-risks/gems-food/en/.

[22] HELA D G, LAMBROPOULOU D A, KONSTANTINOU I K, et al. Environmental monitoring and ecological risk assessment for pesticide contamination and effects in Lake Pamvotis, northwestern Greece [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2005, 24(6): 1548-1556.

[23] 刘莹. 巨大芽孢杆菌的固定化及杀虫单污染土壤的修复[D]. 天津:天津理工大学,2005.

(责任编辑:田 喆)