

◆ 残留与环境 ◆

2种种衣剂对水稻和克氏原螯虾的安全性、 恶苗病防效及残留动态研究

陈晓枫¹, 齐素贞², 陈 灯³, 胡琦娟¹, 曹明章^{1*}

(1. 深圳诺普信农化股份有限公司, 深圳 518102; 2. 中国农业科学院蜜蜂研究所, 北京 100093; 3. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070)

摘要: 本文系统地研究了全程(25%噻虫嗪·精甲霜灵·咯菌腈悬浮种衣剂)和润苗(11%咯菌腈·精甲霜灵·啞菌酯悬浮种衣剂)对水稻种子的安全性及其对水稻生长的影响, 评价了其对于恶苗病的防效、田间残留情况和对克氏原螯虾的毒性。结果表明, 全程和润苗在200~800 g/100 kg种子处理范围内, 对包衣处理的水稻发芽率无显著影响; 全程400~800 g/100 kg种子、润苗200~800 g/100 kg种子处理剂量对恶苗病的防效可超过90%; 各有效成分在水稻植株和土壤中的残留浓度很低, 且随水稻生长而迅速降解; 此外, 全程和润苗对克氏原螯虾急性毒性均为低毒, 二者的96 h-LC₅₀值分别为13.71和12.95 mg/L。综合考虑其药效、残留水平及对克氏原螯虾的毒性, 全程和润苗在稻虾复合养殖中具有较好的应用前景。

关键词: 种衣剂; 水稻; 克氏原螯虾; 安全性; 药效; 残留动态; 急性毒性

中图分类号: TQ 450.2 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2021.06.011

Study on Safety to Rice and *Procambarus clarkii*, Efficacy against Rice Bakanae and Residue Dynamics Using Two Seed Coating Formulations

CHEN Xiaofeng¹, QI Suzhen², CHEN Deng³, HU Qijuan¹, CAO Mingzhang^{1*}

(1. Shenzhen Noposion Agrochemicals Co., Ltd., Guangdong Shenzhen 518102, China; 2. Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China; 3. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In this study, we systematically investigated the effects of QC (25% fludioxonil·metalaxyl-M·thiamethoxam FSC) and RM (11% fludioxonil·metalaxyl-M·azoxystrobin FSC) on safety for rice seeds, rice growth, efficacy against bakanae disease, and assessed residue in rice field, as well as the toxicity to *Procambarus clarkii*. Results showed that, in the dosage range of 200-800 g/100 kg seed, QC and RM had no significant effect on the germination percentage. The efficacy of QC (400-800 g/100 kg seed) and RM (200-800 g/100 kg seed) against bakanae disease could reach more than 90%. The residue of active ingredients in the water and soil were quite low, which also degraded quickly with rice growth. In addition, the acute toxicity of QC and RM to *Procambarus clarkii* were low, with a 96 h-LC₅₀ value being 13.71 mg/L and 12.95 mg/L, respectively. Comprehensively considering efficacy, residual level and toxicity to *Procambarus clarkii*. QC and RM both had a very good application future in rice-cray complex culture.

Key words: seed coating; rice; *Procambarus clarkii*; safety; efficacy; residue dynamics; acute toxicity

收稿日期: 2021-08-13

基金项目: 深圳市技术攻关项目(JSGG20170822153048662) 广东省科技计划项目(2021B1212050011)

作者简介: 陈晓枫(1984—), 男, 黑龙江牡丹江人, 博士, 农艺师, 主要从事种子种苗处理技术与产品研究、农药环境毒理工作。

E-mail: 16371@noposion.com

通信作者: 曹明章(1964—), 男, 江苏扬州人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事农药生测及抗药性工作。E-mail: 4857@noposion.com

农药是现代农业生产中不可缺少的生产资料,伴随着农用化学品的长期不当使用,其造成的环境污染、粮食安全和生态问题也引发了世界各地的关注^[1-4]。近几年来,我国在保证农产品产量、质量满足市场需求的前提下,大力推动“农药化肥双减”项目,开发农药使用的新途径,采用精准施药技术施药,提高农药利用率的同时降低农药环境残留风险是现代绿色农业发展的必然途径^[5-6]。

在众多农药剂型及使用方式中,种衣剂在施用方式、使用成本、病害防治、作物抗逆性提高和环境污染治理等方面具有较大的优势。在水稻、大豆、小麦、玉米、花生、蔬菜等多种作物种子上得到了广泛的应用,并取得了显著的经济、社会及生态效益^[7-8]。

相比于旱地作物,水稻对气候和种植条件限制较多,苗期病虫害发生较多,但目前关于适用于水稻种子处理的种衣剂研究仍然缺乏^[9]。在众多的农药有效成分中,新烟碱类化合物在全球杀虫剂市场上占据了半壁江山,广泛用于多种害虫,尤其是刺吸式口器害虫的防治。噻虫嗪(Thiamethoxam)作为第二代新烟碱类高效低毒杀虫剂,凭借其其对多种刺吸式害虫的良好防效而得到了广泛应用^[10];精甲霜灵(Metalaxyl-M)是甲霜灵的高效旋光单体,可用于种子处理、土壤处理及茎叶处理,且在土壤中降解速度较快,对使用者和环境友好^[11];啞菌酯(Azoxystrobin)是甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂,几乎可用于所有常见的真菌病害^[12];咯菌腈(Fludioxonil)为非内吸性的吡咯类杀菌剂,可用于防治种子带菌及土壤传播的真菌病害^[11,13]。这4种化合物是近年来在种衣剂上研发和登记较多的品种,本研究在此基础上研发了2种水稻种衣剂,分别为25%噻虫嗪·精甲霜灵·咯菌腈悬浮种衣剂(商品名:全程)和11%咯菌腈·精甲霜灵·啞菌酯悬浮种衣剂(商品名:润苗),目前这2种种衣剂均已成功市场化,其对多种作物上的常见病害具有很好的防效^[14-15]。

成功的种衣剂不仅需要病虫害有较好的防效,还应与时俱进,符合对环境和非靶标生物的安全要求。针对这些问题,本研究主要开展了这2种种衣剂对水稻种子安全性的影响,对恶苗病的防效评价,以及监测研究二者在水稻生长中的残留变化,并对稻虾种养模式中克氏原螯虾的急性毒性进行

评价。本研究中获得的结果将有利于综合评价全程和润苗的田间环境安全性及药效,为其推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂及仪器

试验品种:水稻种子安全性评价及恶苗病防效评价试验品种为“龙粳31”,黑龙江省农垦科学院植物保护研究所;种子包衣残留动态评估试验品种为“湘晚粳11”,湖南杂交水稻研究中心。

试验药剂:11%咯菌腈·精甲霜灵·啞菌酯悬浮种衣剂(润苗)、25%噻虫嗪·精甲霜灵·咯菌腈悬浮种衣剂(全程),深圳诺普信农化股份有限公司。

试验仪器:三重四极杆超高效液相色谱串联质谱仪,安捷伦科技(中国)有限公司;QuCHERS前处理盐包、净化柱,北京五洲东方科技发展有限公司;CV200真空冷冻浓缩仪,北京吉艾姆科技有限公司。

1.2 试验场地

水稻种子种苗田间安全性及恶苗病防效评价试验地点设置于黑龙江省农垦科学院植物保护研究所唐家试验基地;种子包衣残留动态评估试验取样地点设置于湖南省浏阳市大围山镇;药剂对克氏原螯虾急性毒性评价试验地点设置于江苏省无锡市。

1.3 种子包衣安全性及对恶苗病的防效评价

根据前期预实验结果,分别设置全程200(Q1)、400(Q2)、800(Q3) g/100 kg种子,润苗200(R1)、400(R2)、800(R3) g/100 kg种子各3个处理,对水稻种子包衣处理后开始浸种,每个处理3次重复,每个重复5个秧盘(0.167 m²/盘),播种量为芽种100 g/盘,以清水为空白对照。

浸种后,播种前观察水稻出芽、出苗后是否存在畸形、扭曲等现象,调查出苗率;插秧前调查秧苗素质,每个处理取1点,每点取100株盘育苗,测量秧苗的株高、百株地上干/鲜重、百株地下干/鲜重、根数,并按式(1)计算充实度,同时观察恶苗病的发生情况。恶苗病发病情况调查在秧田期每个小区采用5点取样,每点统计100株稻苗的发病情况,以空白对照为基准,计算发病率,并以发病率计算相应的防效,详见式(2)。

$$\text{充实度} = \frac{\text{地上百株干重}}{\text{株高}} \quad (1)$$

$$\text{防效}/\% = \frac{\text{空白对照区发病率} - \text{药剂处理区发病率}}{\text{空白对照区发病率}} \times 100 \quad (2)$$

1.4 水稻及稻田土壤中的药剂残留动态评价

1.4.1 小区设置及样品采集

根据前期药效试验结果,设置润苗200、400 g/100 kg种子、全程500 g/100 kg种子3个处理,每个处理设置3个重复,分别进行种子包衣,以清水为空白对照。试验地点选择在湖南浏阳大围山,直播田。在试验开始时,根据设定使用剂量对水稻种子进行包衣,在通风处晾晒干燥后采用随机区组设计,在各个试验小区(30 m²,小区之间设置隔离带)内进行播种。在水稻苗期(播后15 d)、拔节期(播后30 d)、抽穗期(播后70 d)采用随机多点采样法收集水稻植株全株样本及其对应的土壤样本,每个样本量不低于500 g,经切碎、混合均匀后四分法留样100 g左右,-20℃保存待分析。

1.4.2 仪器检测条件

采用超高效液相色谱串联质谱仪对水稻和土壤中的目标化合物进行分析。色谱条件:色谱柱为

Agilent Eclipse Plus C₁₈(2.1 mm × 100 mm, 1.8 μm);柱温为30℃;进样体积为1 μL;流动相A为0.1%甲酸水,流动相B为0.1%甲酸乙腈。梯度洗脱条件见表1。

表1 梯度洗脱条件

时间	A/%	B/%	流速/(mL·min ⁻¹)
0	90	30	0.3
1	90	30	0.3
5	10	90	0.3
7	10	90	0.3
7.1	90	10	0.3
10.0	90	10	0.3

质谱条件:电喷雾正离子模式(ESI⁺);多重反应监测(MRM);离子源温度为350℃;鞘气温度为350℃;电离电压为4 kV;各目标化合物定性离子对、定量离子对、驻留时间、碎裂电压、碰撞能量,见表2。

表2 目标化合物质谱参数

目标化合物	定性/定量检测离子	驻留时间/ms	碎裂电压/V	碰撞能量/V	极性	离子源模式
噻虫嗪	292.0/211.0	25	70	10	+	ESI
	292.0/181.0	25	70	10	+	ESI
	292.0/131.9	25	70	10	+	ESI
精甲霜灵	280.0/192.1	25	80	25	+	ESI
	280.0/160.0	25	80	25	+	ESI
咯菌腈	247.0/180.0	25	90	15	+	ESI
	247.0/126.0	25	90	15	+	ESI
啞菌酯	404.1/372.1	25	90	10	+	ESI
	404.1/344.1	25	90	10	+	ESI

1.4.3 样品前处理

水稻或土壤样品:准确称取5.0 g样品置于50 mL离心管中,加入5 mL去离子水后充分涡旋2 min,样品混匀后加入20 mL乙腈(色谱纯),再次充分涡旋3 min;向离心管中加入5 g盐包,充分涡旋震荡3 min后于8 000 r/min离心5 min,获得上清提取液。

对于水稻植株样品,将8 mL上清液转移至安捷伦QuCHERS试剂盒5982-1010净化管中进行净化,并加入20 mg GCB,充分震荡涡旋3 min后,于8 000 r/min离心5 min;取上清提取液5 mL至新的洁净离心管中,用真空冷冻浓缩仪在45℃旋转蒸干2.5 h;向蒸干后的样品中加入0.5 mL乙腈(色谱纯),涡旋充分溶解样品后,过0.22 μm滤膜至进样瓶中,上机分析。

土壤样品不需净化,取提取液8 mL至洁净离心管中,用真空冷冻浓缩仪在45℃条件下旋转蒸干2.5 h;

向蒸干后的样品中加入1 mL乙腈(色谱纯),涡旋充分溶解样品后,过0.22 μm滤膜至进样瓶中待分析。

1.4.4 方法验证及数据分析

采用外标法定量,分别以乙腈(色谱纯)或各基质溶液为溶剂,将1.0 mg/mL的各待检药剂标准溶液依次稀释获得100.0、50.0、10.0、5.0、1.0、0.5、0.1 ng/mL,在上述超高效液相色谱串联质谱仪条件下进行测定。以各标准溶液浓度作为横坐标,峰面积作为纵坐标绘制标准曲线。

以对照区中的水稻植株样品或土壤作为空白样品,在其中添加一定体积的标准溶液,获得含0.1、1.0、10.0 μg/kg药剂的添加回收样品,按照上述方法提取样品中的待检药剂,根据所建立的分析方法测定回收率及相对标准偏差。

1.5 2种种衣剂对克氏原螯虾的急性毒性评价

采用半静态试验法在室内条件下评价全程和

润苗对克氏原螯虾的96 h急性毒性。根据预实验结果,各个药剂设置5个浓度处理组,以曝气自来水(温度18~24℃、pH值6.0~7.0、总硬度100~200 mg/L,溶解氧大于或等于6 mg/L)为空白对照,每个处理3个重复。

克氏原螯虾在试验室条件下驯养1周后即可进行试验。驯养期间克氏原螯虾的死亡率不能超过2%。试验前24 h和试验期间禁止喂食,试验时随机挑选附肢、体表无损伤,健壮活泼,大小一致,平均体长(连尾)为2.5~4.5 cm,平均体重(湿重)为0.5~2.0 g的克氏原螯虾幼体作为试验试材。用30 L玻璃鱼缸为容器,每个容器加20 L水,每个重复放入10尾克氏原螯虾,每24 h更换50%试验药液,以保持药液浓度维持在80%以上。试验开始后6、24、48、72、96 h观察并记录受试虾的中毒及死亡情况,计算全程和

润苗的96 h-LC₅₀值。

2 结果与分析

2.1 种衣剂对水稻种子的安全性及对恶苗病的防效评价

调查发现(表3),水稻种子经全程和润苗包衣处理后,各处理组中种子发芽率与空白对照组无显著性差异,且低剂量处理组的发芽率略优于空白对照组。秧盘生长调查发现,经种衣剂处理的水稻种子,其秧苗在根数、干/鲜重、茎基宽等素质指标上与对照组无显著差异。值得注意的是,经全程400、800 g/100 kg种子及润苗200、400 g/100 kg种子处理组的株高显著低于空白对照组,说明经这2种种衣剂处理的水稻秧苗在早期生长略微缓慢,但从充实度来看,经种衣剂处理的秧苗充实度更优,生长健壮。

表3 种衣剂对水稻种子的田间秧盘安全性及对恶苗病的防效评价

处理组 编号	发芽率/%	株高/cm	根数/条	地上100株		地下100株		茎基宽/mm	充实度/ (g·cm ⁻¹)	恶苗病防效/%
				鲜重/g	干重/g	鲜重/g	干重/g			
Q1	95.4±0.5	15.5±1.6	10.3±0.4	12.8±2.5	2.4±0.4	11.0±2.1	1.6±0.3	2.6±0.2	0.16±0.02	85.5±3.0 b
Q2	90.5±3.0	14.7±2.2*	10.2±2.0	12.5±1.4	2.4±0.3	9.6±2.1	1.3±0.1	2.5±0.5	0.17±0.01	91.5±6.1 ab
Q3	88.6±9.9	13.7±0.8**	9.2±0.4	11.1±1.8	2.2±0.3	7.2±2.4	1.3±0.2	2.4±0.2	0.16±0.01	90.8±1.5 ab
R1	96.7±2.7	14.4±0.1*	9.9±0.8	11.4±0.4	2.2±0.2	10.4±0.7	1.5±0.1	2.3±0.1	0.15±0.02	99.7±0.2 c
R2	93.3±5.4	13.9±1.2**	9.3±1.4	12.3±0.8	2.5±0.1	9.8±0.7	1.4±0.1	2.4±0.2	0.18±0.01	99.5±0.7 c
R3	84.7±3.4	15.5±0.5	10.3±0.4	13.2±2.6	2.5±0.4	11.0±1.3	1.4±0.1	2.3±0.3	0.16±0.02	99.8±0.2 c
对照	88.5±1.4	18.1±0.4	10.5±1.0	13.6±1.0	2.6±0.1	11.5±3.1	1.4±0.2	2.3±0.4	0.14±0.01	

注: *为与对照相比差异显著性, **为P<0.05, **为P<0.01; 字母abc为与Q2相比差异显著性, b为P<0.05, c为P<0.01。

2.2 种衣剂对水稻恶苗病的防效

种衣剂在预防、控制作物苗期病害方面可发挥良好的作用。在本次田试中(表3),全程使用剂量200~800 g/100 kg种子范围内对水稻恶苗病的防效可达到85.5%以上。润苗的防效更佳,在200~800 g/100 kg种子的使用剂量下,对水稻恶苗病的防效高达99.5%以上,显著优于全程。

2.3 种衣剂在稻田土壤和水稻植株中的动态残留

2.3.1 方法验证

在建立的分析条件下,0.1~100 ng/mL浓度内各药剂吸收面积与相应质量浓度之间具有良好的线性关系($R^2>0.99$)。采用空白基质提取液逐级稀释标准溶液的方法,根据 $S/N\geq 3$ 确定检出限(LOD); $S/N\geq 10$ 确定定量限(LOQ)。各化合物在仪器上的响应灵敏。结合各化合物的基质标曲响应和最低添加回收浓度,噻虫嗪、精甲霜灵、咯菌腈、啞菌酯的方法检出限在0.01 ng/mL,定量限在0.1 ng/mL。各目标化合物在水稻植株和土壤基质中的添加回收

率为71%~103%,相对标准偏差(RSD)为1.8%~11.2%。方法的准确性和重复性良好,可以满足样品中目标化合物的后续分析。

2.3.2 种衣剂有效成分在稻田土壤样品中的残留

根据上述建立的前处理方法和仪器分析方法,试验小区内的水稻土壤样品中各目标药剂的化合物检测结果,见表4。

由表4可知,4种目标化合物在对照组土壤中均无检出。全程处理组中噻虫嗪的残留量在播种15 d后土壤中的检出浓度为57.10±17.12 μg/kg,在30 d则显著降低至27.73±10.54 μg/kg;播种70 d后浓度降低至仅为0.84±0.55 μg/kg。对于精甲霜灵和咯菌腈而言,其残留量在全程和润苗处理的土壤样品中差异不大,播种后15 d时二者残留水平在2.72±2.54~5.34±2.36 μg/kg,30 d时降低至0.48±0.05~2.39±2.58 μg/kg,70 d时则均未检出;两组润苗处理组中啞菌酯的平均残留水平15 d时分别为30.64±17.35和37.26±27.4 μg/kg,30 d时则显著降低至1.58±0.77 μg/kg和11.79±4.62 μg/kg,70 d时没有检出。

表4 稻田土壤样品中各目标化合物的残留水平

土壤采集时间	处理组	土壤浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)			
		噻虫嗪	精甲霜灵	咯菌腈	啞菌酯
播种后15 d	润苗200 g/100 kg干种子	ND	4.78 ± 1.39	2.72 ± 2.54	30.64 ± 17.35
	润苗400 g/100 kg干种子	ND	5.15 ± 3.09	3.33 ± 3.25	37.26 ± 27.74
	全程500 g/100 kg干种子	57.10 ± 17.12	5.34 ± 2.36	3.64 ± 0.80	ND
	空白对照	ND	ND	ND	ND
播种后30 d	润苗200 g/100 kg干种子	ND	0.48 ± 0.05	ND	1.58 ± 0.77
	润苗400 g/100 kg干种子	ND	1.20 ± 0.12	0.62 ± 0.43	11.79 ± 4.62
	全程500 g/100 kg干种子	27.73 ± 10.54	1.88 ± 0.62	2.39 ± 2.58	ND
	空白对照	ND	ND	ND	ND
播种后70 d	润苗200 g/100 kg干种子	ND	ND	ND	ND
	润苗400 g/100 kg干种子	ND	ND	ND	ND
	全程500 g/100 kg干种子	0.84 ± 0.55	ND	ND	ND
	空白对照	ND	ND	ND	ND

注:ND表示未检出。下表同。

由此可见,润苗、全程经种子包衣后在水稻苗期能够有效存在于种子根系附近的土壤中,对土传、种传苗期病虫害起到防治作用,而播后70 d通过作物吸收利用及降解作用,在土壤中基本无检出,对环境安全。

2.3.3 种衣剂有效成分在水稻植株样品中的残留

根据上述建立的前处理方法和仪器分析方法,试验小区内的水稻植株样品中各目标药剂的化合物检测结果如表5。

由表5可知,4种目标化合物在水稻植株中的残

留变化与土壤中的变化相似,播种70 d后,4种化合物在所有水稻样品中均没有检出。其中,值得注意的是,啞菌酯在水稻播种初期残留水平较高,在15 d后水稻植株样品中,润苗低、高浓度处理组中的残留水平分别为 23.97 ± 8.79 和 $86.18 \pm 38.12 \mu\text{g}/\text{kg}$,在30 d后分别降低至 7.51 ± 6.17 和 $10.44 \pm 1.87 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。播后15 d时,400 g/100 kg剂量处理组的水稻植株中的残留量为 $86.18 \pm 38.12 \mu\text{g}/\text{kg}$,远高于土壤中残留量 $37.26 \pm 27.74 \mu\text{g}/\text{kg}$,表明啞菌酯能够有效地被水稻植株吸收,进而对病害起到较好的防治作用。

表5 水稻植株样品中各目标化合物的检测结果

水稻采集时间	处理组	植株浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)			
		噻虫嗪	精甲霜灵	咯菌腈	啞菌酯
播种后15 d	润苗200 g/100 kg干种子	ND	13.83 ± 9.0	3.76 ± 1.38	23.97 ± 8.79
	润苗400 g/100 kg干种子	ND	19.28 ± 6.65	18.50 ± 12.14	86.18 ± 38.12
	全程500 g/100 kg干种子	4.08 ± 4.03	9.45 ± 3.72	14.15 ± 6.26	ND
	空白对照	ND	ND	ND	ND
播种后30 d	润苗200 g/100 kg干种子	ND	4.55 ± 0.61	1.34 ± 1.49	7.51 ± 6.17
	润苗400 g/100 kg干种子	ND	5.17 ± 0.90	1.64 ± 0.36	10.44 ± 1.87
	全程500 g/100 kg干种子	2.15 ± 1.79	5.52 ± 1.39	3.29 ± 1.14	ND
	空白对照	ND	ND	ND	ND
播种后70 d	润苗200 g/100 kg干种子	ND	ND	ND	ND
	润苗400 g/100 kg干种子	ND	ND	ND	ND
	全程500 g/100 kg干种子	ND	ND	ND	ND
	空白对照	ND	ND	ND	ND

2.4 种衣剂对克氏原螯虾的急性毒性

虾稻田的养殖虾主要是克氏原螯虾。根据试验发现,润苗、全程对克氏原螯虾的毒性较低,两者的96 h-LC₅₀值分别为12.95和13.71 mg a.i./L(表6)。根据急性毒性等级划分标准,两者均为低毒。

结合全程和润苗在水稻田中的残留情况,目前初测,在推荐剂量下,4种目标化合物在稻田水体中的残留量均低于 $0.5 \mu\text{g}/\text{L}$,远远低于全程和润苗的96 h-LC₅₀值,说明全程和润苗在稻田使用不会对克氏原螯虾造成生存风险,适用于稻虾共作系统中。

表 6 种衣剂对克氏原螯虾的急性毒性评价

农药制剂名称	回归方程	96 h-LC ₅₀ 值/(mg a.i.·L ⁻¹)	95%置信区间/(mg·L ⁻¹)	相关系数
全程	y=2.58x-2.91	13.71	10.80~17.10	0.991
润苗	y=1.80x-1.99	12.95	8.79~17.42	0.957

3 总结与展望

本研究评估了2种混配种衣剂对水稻种子的安全性、对恶苗病的防效、在水稻田及水稻植株中的残留情况和对非靶标生物克氏原螯虾的急性毒性风险。结果表明,全程和润苗对水稻种子生长均具有很好的安全性,对恶苗病具有较好的防效。结合各地多点试,润苗、全程最佳使用剂量分别应在200~400 g/100 kg种子、400~500 g/100 kg种子处理范围内。此条件下的润苗和全程对水稻发芽和生长有良好的保护作用,超出该剂量范围则可能抑制种子发芽。为避免药害情况发生,需严格控制药剂在实际生产中的使用剂量。此外,这2种种衣剂不会造成水稻和稻田环境的残留污染,二者对克氏原螯虾的急性毒性较低,在稻虾复合种养中可以推广应用。

种子包衣技术是实现作物良种标准化、管理轻型化、农业生产节支增收的重要途径,是我国现代高科技农业发展的重要组成部分。水稻是我国最主要的粮食作物之一,也是保障我国粮食出口经济的重要产品,加强水稻种衣剂的研发与推广是提高我国水稻种子科技含量和市场竞争力的重要举措。未来应加强水稻种衣剂向精品化、高效化、安全化方向发展,服务于水稻种子标准化,切实为现代化绿色农业发展做出贡献。

参考文献

[1] TADESSE G L, KASA T. High human exposure and measurable environmental impact of pesticides application on agriculture: a review article[J]. *Advances in Life Science and Technology*, 2017 (55): 13-22.
 [2] CARVALHO F P. Pesticides, environment, and food safety[J]. *Food*

and Energy Security, 2017, 6(2): 48-60.
 [3] BUNDSCHUH M, GOEDKOOOP W, KREUGER J. Evaluation of pesticide monitoring strategies in agricultural streams based on the toxic-unit concept-experiences from long-term measurements [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 484: 84-91.
 [4] BOYE K, LINDSTROM B, BOSTROM G, et al. Long-term data from the Swedish national environmental monitoring program of pesticides in surface waters[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2019,48(4): 1109-1119.
 [5] 李怡洁. 化肥、农药双减问题探析[J]. *南方农业*, 2019, 13(5): 174-175.
 [6] 钱忠龙. 水稻化肥、农药双减增效与农业面源污染防治[J]. *上海农业科技*, 2006(5): 78-80.
 [7] 李海龙, 方淑梅, 孔祥森, 等. 种衣剂的研究应用现状与发展方向 [J]. *贵州农业科学*, 2018, 46(9): 59-63.
 [8] 高云英, 谭成侠, 胡冬松, 等. 种衣剂及其发展概况[J]. *现代农药*, 2012,11(3): 7-10.
 [9] 肖晓, 王权, 张海清. 水稻种衣剂研究进展[J]. *作物研究*, 2008, 22 (增刊1): 405-408.
 [10] 范银君, 史雪岩, 高希武. 新烟碱类杀虫剂吡虫啉和噻虫嗪的代谢研究进展[J]. *农药学报*, 2012, 14(6): 587-596.
 [11] 蒋梦云, 巩文雯, 刘庆菊, 等. 辣椒及土壤中咯菌腈、精甲霜灵和溴虫酰胺的残留及消解动态研究[J]. *广东农业科学*, 2018, 45 (11): 60-67.
 [12] 贾丽, 何玲, 王李斌, 等. 啉菌酯在我国登记情况以及抗性研究现状[J]. *农药科学与管理*, 2014, 35(10): 19-22.
 [13] 杨玉柱, 焦必宁. 新型杀菌剂咯菌腈研究进展[J]. *现代农药*, 2007, 6(5): 35-39.
 [14] 刘煜财, 王义山, 郭冬梅, 等. 11%精甲霜灵·咯菌腈·啉菌酯悬浮种衣剂防治玉米丝黑穗病试验[J]. *吉林农业科学*, 2014, 39(3): 56-58.
 [15] 潘强, 王莹, 陈静, 等. 25%噻虫·咯·精甲悬浮种衣剂配方及其生物活性[J]. *农药*, 2017, 56(12): 882-886.

(责任编辑:高蕾)

(上接第 43 页)

[31] 宋世明, 陈兆杰, 吴秋榕, 等. 不同剂型硝磺草酮及其原药对斑马鱼的急性毒性评价[J]. *南方农业学报*, 2017, 48(8): 1518-1523.
 [32] CAROLINE C, MICHAEL S. Unidentified inert ingredients in pesticides: implications for human and environmental health [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2006, 114(12): 1803-1806.
 [33] 姜锦林, 单正程, 程燕, 等. 常用农药助剂类产品对水生生物效应研究进展[J]. *生态毒理学报*, 2017, 12(4): 45-58.
 [34] 中华人民共和国农业部. NY/T 2882—2016 农药登记环境风险

评估指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
 [35] 豆敏详, 姚满, 吴志凤, 等. 苦参碱在土壤中的环境行为研究[J]. *农药学报*, 2017, 19(5): 576-582.
 [36] 马志卿, 豆敏详, 姚满, 等. 苦参碱的水解动态及其在自然水体中的降解特性[J]. *农药学报*, 2017, 19(3): 347-354.
 [37] 张宗俭, 张春华. 农药助剂研发进展及在农药减量增效行动中的作用[C]//中国植物保护学会. 绿色植保与乡村振兴——中国植物保护学会2018年学术年会论文集, 2018 333-337.

(责任编辑:高蕾)