

卵磷脂桶混助剂的特性及其在防治稻飞虱中对氟啶虫胺胍的协同增效作用

徐鹏飞¹, 康廷浩², 张园¹, 秦雪莹¹, 何顺¹, 李建洪¹, 万虎^{*1}

(1. 华中农业大学植物科学技术学院, 昆虫资源利用与害虫可持续治理湖北省重点实验室, 武汉 430070;

2. 武汉康科植保技术有限公司, 武汉 430070)

摘要: 为明确新型卵磷脂类桶混助剂“融透”的特性, 采用透射电镜和激光粒度分析表征了其物理性质, 并通过室内生物测定和田间药效试验测定了其在防治稻飞虱中对氟啶虫胺胍的协同增效作用。结果表明, “融透”中含有圆形脂质体, Z平均粒径为129.5 nm。室内生物测定结果表明, “融透”可使氟啶虫胺胍对褐飞虱的毒力增加1.67倍。田间药效试验表明, “融透”可使氟啶虫胺胍对稻飞虱的防效提高9.04%~41.77%; 当氟啶虫胺胍减量40%时, 添加“融透”的处理对稻飞虱的防效与未添加“融透”的常量组相当。研究结果表明, 卵磷脂桶混助剂“融透”可以通过形成脂质体提高药剂的利用率, 从而达到增效的作用。

关键词: 卵磷脂; 脂质体; 桶混助剂; 融透; 氟啶虫胺胍; 稻飞虱; 协同增效

中图分类号: S482.92; TQ450.45

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2019)02-0227-06

Characterization of lecithin tank mixing adjuvant and synergistic effect with sulfoxaflor on the control of rice planthopper

XU Pengfei¹, KANG Tinghao², ZHANG Yuan¹, QIN Xueying¹,
HE Shun¹, LI Jianhong¹, WAN Hu^{*1}

(1. Hubei Insect Resources Utilization and Sustainable Pest Management Key Laboratory, College of Plant Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Wuhan KPC Co. Ltd., Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to investigate the property of “Transmicelle” a new lecithin tank mixing adjuvant, its physical characteristics were investigated by transmission electron microscopy (TEM) and laser particle size analyzer, and its synergistic effect in controlling rice planthopper was determined by bioassay and field trials. The results showed that “Transmicelle” contained round liposomes with a Z-average size of 129.5 nm. The bioassay exhibited that “Transmicelle” can increase the toxicity of sulfoxaflor by 1.67 times. Furthermore, the field trial results indicated that the control effect of sulfoxaflor was increased by 9.04%~41.77% with the “Transmicelle”. Compared to the normal dosage treatment without “Transmicelle”, no significant difference in the control effect was detected by adding “Transmicelle” if the amount sulfoxaflor was reduced by 40%. The above results illustrate that the “Transmicelle” of the

收稿日期: 2018-11-04; 录用日期: 2019-01-01.

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0200500).

作者简介: 徐鹏飞, 男, 硕士研究生, E-mail: xupengfei@webmail.hzau.edu.cn; *万虎, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 博士, 副教授, 主要从事农药毒理学研究, E-mail: huwan@mail.hzau.edu.cn

lecithin tank mixing adjuvant can enhance the utilization rate of the pesticide by forming liposomes, which results in a synergistic effect.

Keywords: lecithin; liposome; tank mixing adjuvant; Transmicelle; sulfoxaflo; planthopper; synergism

桶混助剂作为农药“减量增效”使用中重要的一环,其主要作用为改善药液的物理性能,提高有效成分到达作用位点的效率^[1]。现有的桶混助剂主要包括有机硅类、矿物油类、植物油类和高分子类,其增效作用主要分为:1)降低药液的表面张力和接触角;2)短时间溶解叶片表层的蜡质层;3)增强药剂耐雨水冲刷能力^[2-4]。但这几类助剂均不具备包埋药剂穿透生物体表面,进而提高其在生物体内传递效率与缓释的作用。相比之下,卵磷脂作为细胞膜的组成成分,因其具有优异的生物相容性和安全性,在食品、医药和保健品行业中已被广泛使用^[5-8]。其中,由卵磷脂组成的脂质体是优良的药物载体,特别适用于包埋在水中溶解度小、毒副作用大的药物^[9]。经脂质体包埋的药物,可以在生物体内快速传递和分布,缓慢释放,可延长有效药物浓度的维持时间,从而达到增强药效的作用^[10]。医学上的研究表明,卵磷脂自组装形成的脂质体可以延长莫西沙星在体内的半衰期,保护喜树碱类药剂,降低其在体内的清除速率^[11-12]。吕书佳等关于脂质体释放机理的研究表明,经脂质体包埋的药物主要通过自由扩散的方式缓慢释放到周围的介质中^[13]。以上的研究表明,脂质体可以显著改善已有医药的效果,但其在农药中的应用鲜有报道。由武汉康科植保技术有限公司推出的桶混助剂“融透”,其有效成分为超支化卵磷脂和维生素E。其中,超支化卵磷脂通过自聚形成常温稳定的脂质体,用于包裹药剂,维生素E为卵磷脂的抗氧化剂,防止卵磷脂在常温下水解失效。鉴于此,该桶混助剂应与医用脂质体具有相同的增效作用,同时兼有绿色、环保和高安全性等特性,将成为今后桶混助剂的发展方向^[14]。

氟啶虫胺胍(sulfoxaflo)作为烟碱型乙酰胆碱受体(nAChRs)激动剂中惟一一个亚砷亚胺类产品(Group 4C),已于2012年在全球商品化^[15-16]。其具有独特的作用方式,在刺吸式害虫的防治上具有较好的效果,特别是对那些已对新烟碱类杀虫剂产生抗性的害虫,如:吡虫啉,具有优异的防治效果^[17]。但近些年来的频繁使用,已使褐飞虱

Nilaparvata lugens (Stål) 对其产生了低水平的抗药性(抗性倍数=0.8~6.8)^[18]。因此,高效合理地使用氟啶虫胺胍,对延缓其抗性的发展具有重大意义。

鉴于此,本研究表征了卵磷脂桶混助剂“融透”的物理特性,并通过室内生物测定及田间药效试验,研究了其在防治稻飞虱中与氟啶虫胺胍的协同增效作用,以期通过该助剂的使用达到氟啶虫胺胍“减量增效”的目的,降低其抗性风险的发生和发展。

1 材料与amp;方法

1.1 试虫

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 种群。由浙江大学馈赠的敏感种群,室内饲养于稻苗(TN1)上,超过20年未接触药剂。饲养条件为:温度(28±1)℃,相对湿度60%~80%,光暗周期16 h/8 h。

1.2 药剂、试剂及主要仪器

“融透”购自武汉康科植保技术有限公司;22%氟啶虫胺胍悬浮剂(sulfoxaflo SC,特福力)购自陶氏益农;磷钨酸负染液购自索莱宝(Solarbio)。

Nano ZS 激光粒度分析仪(英国马尔文仪器有限公司);H-7650 透射电镜(日本HITACHI)。

1.3 透射电镜成像

使用透射电镜对“融透”中内含物的形态进行成像。将“融透”原液滴加在铜网上,滴加磷钨酸进行负染,室温下放置干燥后,使用透射电镜成像。

1.4 粒径分布测量

使用激光粒度分析仪测量“融透”中内含物的粒径分布。设置参数:测试温度25℃,平衡时间30 s,测试重复12次。

1.5 室内生物测定

使用稻苗浸渍法^[19]测定“融透”协同氟啶虫胺胍对褐飞虱毒力的增效作用。用以清水稀释1 500倍的“融透”稀释液配制5个质量浓度的氟啶虫胺胍药液;同时,使用清水配制同等质量浓度的氟啶虫胺胍药液。取15株长势整齐的稻苗为

一组, 在药液中浸泡 30 s 后取出。室温凉干后, 取吸水后的脱脂棉包裹于稻苗根部, 置于试验杯中。每杯接入长势一致的褐飞虱 3 龄中期若虫 15 头。每处理重复 3 次, 以清水及 1 500 倍“融透”稀释液作为对照组。于温度 $(28 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 相对湿度 60%~80%, 光暗周期 16 h/8 h 的培养箱中培养。96 h 后检测各处理的若虫死亡头数。用 0 号毛笔轻触虫体, 完全不动者记为死亡。

使用 LeOra software 公司的 PoloPlus version 1.0 计算添加和未添加“融透”2 个处理的 LC_{50} 值及其 95% 置信区间和斜率。通过该软件中的相等和平行假设检验, 判断 2 个处理间斜率和截距是否存在差异; 同时, 计算 LDR(Lethal dose ratio (LC_{50})) 值及其 95% 置信区间, 判断 2 个处理间是否存在显著性差异^[20-21]。

1.6 田间药效试验

田间药效试验于 2018 年 7 月 10 日至 8 月 2 日在湖北省武穴市进行。水稻品种为两优 S09, 处于分蘖期。田间水肥管理一致, 综合管理水平中上。7 月 10 日进行虫口基数调查。

试验于 7 月 11 日 8:00 进行, 施药当天气温 30~35 $^\circ\text{C}$, 施药器械: 山东华盛卫士电动喷雾器 WS-16D。试验共设 7 个处理, 前 3 个处理先将“融透”与清水按体积比 1:1 500 比例稀释, 利用稀释液将氟啶虫胺胍配制成有效成分含量为 45、60 和 75 g/hm^2 的药液进行处理 (喷雾量 450 L/hm^2); 后 3 个处理采用清水配制的同等浓度的氟啶虫胺胍药液进行处理。同时设置清水处理为对照组, 每处理重复 4 次, 每重复处理小区面积 40 m^2 , 共 28 个小区。分别在药后 3、7、14 和 21 d 调查虫口数量, 计算虫口减退率、防治效果和增效比^[2, 22]。采用 Duncan's 多重比较分析不同处理间防治效果

的差异显著性 ($P < 0.05$, 表示差异显著)。

$$R_{IN}/\% = [(N_B - N_F)/N_B] \times 100 \quad (1)$$

$$E_C/\% = [(R_C - R_{CK})/(1 - R_C)] \times 100 \quad (2)$$

$$S_R/\% = [(A_W - A_0)/A_W] \times 100 \quad (3)$$

式中: R_{IN} —虫口减退率; N_B —防治前虫口数; N_F —防治后虫口数; E_C —防治效果; R_C —防治区虫口减退率; R_{CK} —对照区虫口减退率; S_R —增效比; A_W —加助剂防治效果; A_0 —相同浓度未加助剂防治效果。

2 结果与分析

2.1 透射电镜

通过磷钨酸负染后的透射电镜结果 (图 1) 表明, 融透近圆形, 表面光滑的囊泡直径为 150~200 nm (图 1A)。因磷钨酸可将卵磷脂着色, 囊泡边缘着色较深的区域厚度为 5~10 nm, 该厚度与磷脂双分子层的厚度相似^[23], 故可认定“融透”中含有单室脂质体。同时, “融透”中还观察到了形状不规则、表面还伴有凸起的囊泡 (图 1B)。以上图片中的囊泡均与脂质体的结构特征相符^[24]。故可认定, “融透”中的超支化卵磷脂通过自聚形成了圆形脂质体。

2.2 粒径分布

通过激光粒度分析仪的测量, “融透”中所含脂质体的 Z 平均粒径为 129.5 nm, PdI (Polymer dispersity index, 聚合物分散性指数) 为 0.128, 其中主峰位于 148.2 nm (图 2), 质量评估为优。表明“融透”中脂质体的粒径分布集中, 品质好。

2.3 “融透”增强氟啶虫胺胍对褐飞虱的毒性

室内生物测定结果 (表 1) 表明: 未添加“融透”剂时, 氟啶虫胺胍对褐飞虱的 LC_{50} 值为

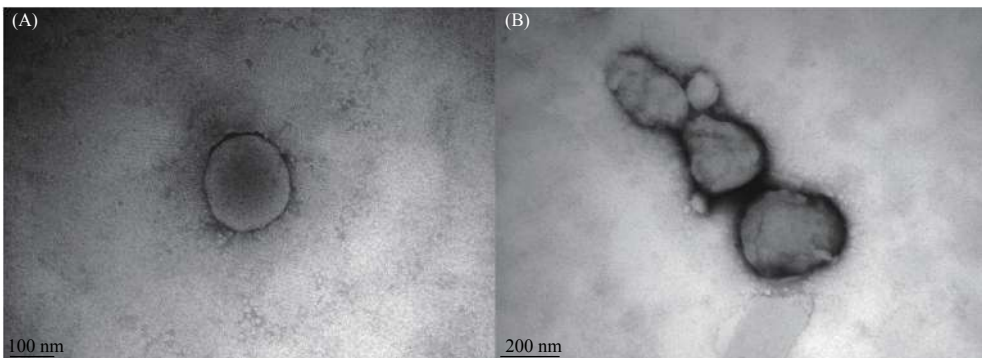


图 1 “融透”透射电镜图片

Fig. 1 The TEM images of “Transmicelle”

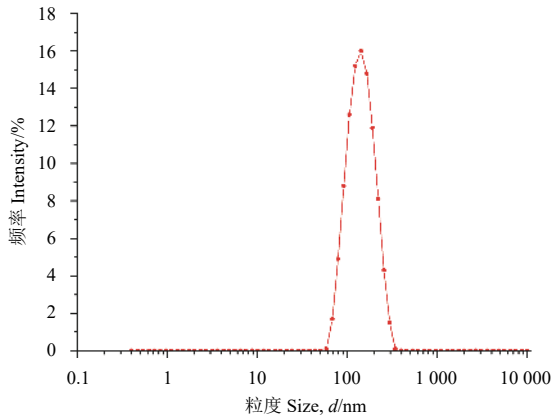


图 2 “融透”粒径分布

Fig. 2 The size distribution of “Transmicelle”

2.66 mg/L。添加“融透”后该值降至 1.59 mg/L，致死中浓度比值为 1.67 (增效倍数)；同时，“融透”稀释液处理未造成试虫死亡，表明“融透”无杀虫活性；此外，相等性假设和平行性假设均未成立 ($P < 0.05$)，致死中浓度比值的 95% 置信限大于 1，表明“融透”对氟啶虫胺胍具有协同增效作用，可显著增强其对褐飞虱的毒力。

2.4 “融透”对氟啶虫胺胍防治稻飞虱的增效作用

田间药效试验结果 (表 2) 表明：在 22% 氟啶虫胺胍悬浮剂中添加“融透”，在氟啶虫胺胍有效成分含量为 75、60 和 45 g/hm² 下末次施药后，其防效较相同剂量未添加助剂组的防效分别增效 9.04%、13.84% 和 41.77%。同时添加“融透”后，减量 40% 组 (融透 + 氟啶虫胺胍 45 g/hm²) 与未添加的常量组 (氟啶虫胺胍 75 g/hm²) 在药后 3、7、14 和 21 d 的防效均无显著性差异，且在药后 7 和 14 d 的防效更优于常量组。

3 结论与讨论

卵磷脂自聚形成的脂质体作为一种新型的体内输送载体，已在医药领域取得了巨大的成功。其具有亲水的内核和两亲的磷脂双分子层，可以包埋各类亲/疏水和两亲药物，使其能在体内快速分布和缓慢释放，故已成为药物的理想载体^[25]，但因其需要在低温保存，故限制了其作为桶混助剂在农业上的使用。桶混助剂“融透”是以卵磷

表 1 “融透”协同氟啶虫胺胍对褐飞虱毒力的增效作用

Table 1 Synergistic effect of “Transmicelle” in toxicity of sulfoxaflor to *N. lugens*

处理 Treatment	试虫数 Number of insect	致死中浓度 (95%置信区间) LC ₅₀ (95% confidence limits)/(mg/L)	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	χ^2 (df)
氟啶虫胺胍 Sulfoxaflor	225	2.66 (2.26~3.11)	3.45 ± 0.42	7.37 (2)
融透 + 氟啶虫胺胍 Transmicelle + sulfoxaflor	225	1.59 (1.20~1.96)	2.35 ± 0.37	1.45 (2)
相等性假设 χ^2 (df) Hypothesis of equality		17.34 (2), $P < 0.05$		
平行性假设 χ^2 (df) Hypothesis of parallelism		5.39 (2), $P < 0.05$		
致死中浓度比值 (95%置信区间) LC ₅₀ ratio (95% confidence limits)		1.67 (1.22~2.30)		

表 2 “融透”对 22% 氟啶虫胺胍悬浮剂防治稻飞虱的增效作用

Table 2 Synergistic effect of “Transmicelle” on the control of rice planthopper in combination with 22% sulfoxaflor SC

处理 Treatment	氟啶虫胺胍有效成分 sulfoxaflor, a.i/(g/hm ²)	防治效果 ± 标准差 Control efficacy ± SD/%				末次防效增效比 Synergistic ratio of the last control efficacy/%
		3 d	7 d	14 d	21 d	
融透 + 氟啶虫胺胍 Transmicelle + sulfoxaflor	75	91.23 ± 4.21 a	91.83 ± 1.43 a	83.14 ± 2.59 a	95.28 ± 1.14 a	9.04
	60	91.16 ± 3.12 a	81.56 ± 7.78 a	83.67 ± 7.10 a	87.39 ± 2.90 ab	13.84
	45	87.70 ± 9.11 a	86.66 ± 12.02 a	81.49 ± 8.81 a	84.35 ± 11.42 ab	41.77
氟啶虫胺胍 sulfoxaflor	75	92.41 ± 5.41 a	81.94 ± 13.65 a	72.56 ± 15.01 ab	87.39 ± 4.47 ab	—
	60	88.11 ± 6.30 a	81.34 ± 19.02 a	75.96 ± 7.95 a	76.76 ± 6.98 b	—
	45	87.83 ± 3.03 a	83.65 ± 7.54 a	57.87 ± 15.10 b	59.50 ± 20.67 c	—

注：表中数据标有不同字母表示差异显著 (Duncan's, $P < 0.05$)。

Note: Data marked with different letters indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

脂为基础, 对其进行超支化处理, 使其自聚形成的脂质体能够在常温下长期稳定, 克服了上述缺陷。为了阐明“融透”的特性, 对其物理性质进行了表征。透射电镜成像结果表明, 常温下“融透”的内含物具有典型的脂质体形态特征, 且粒径分布均一, PDI 为 0.128。该脂质体的 Z 平均粒径为 129.5 nm, 与医药实践中最佳脂质体粒径 100 nm 相近^[26]。故推测其具有与医用脂质体相似的功能, 即可包裹药剂快速进入动植物体内, 并能在体内的循环系统中广泛分布, 缓慢释放。

氟啶虫胺胍在水中的溶解度为 809 mg/L, 属于水中低溶解度药剂, 在水稻体内运输过程中容易吸附于脂肪含量高的组织中, 减少其到达水稻基部的药量而降低防效^[27]。为了验证“融透”的增效作用, 测定了其对于氟啶虫胺胍的协同增效作用。结果显示, 当添加“融透”后, 氟啶虫胺胍在室内对褐飞虱的 LC₅₀ 值从 2.66 mg/L 下降到 1.59 mg/L。表明“融透”可以显著提高氟啶虫胺胍对褐飞虱的毒力。田间药效试验的结果显示, “融透”能够显著增强氟啶虫胺胍在药后 14 d 和 21 d 对稻飞虱的防效。表明“融透”可以延长氟啶虫胺胍的持效期, 进而减少施药次数。

综上所述, 本研究表征了新型卵磷脂桶混助剂“融透”的物理特性, 并通过室内生物测定和田间药效试验测定了其在防治稻飞虱中对氟啶虫胺胍的协同增效作用, 为农药的“减量增效”提供了理论依据和实践经验。

参考文献 (Reference):

[1] 张春华, 张宗俭, 刘宁, 等. 农药喷雾助剂的作用及植物油类喷雾助剂的研究进展 [J]. *农药科学与管理*, 2012, 33(11): 16-18.
ZHANG C H, ZHANG Z J, LIU N, et al. Effect of pesticide spray adjuvants and research progress of vegetable oil spray adjuvants[J]. *Pestic Sci Admin*, 2012, 33(11): 16-18.

[2] 张忠亮, 李相全, 王欢, 等. 六种有机硅助剂对氟啶虫胺胍的增效作用及其增效机理初探 [J]. *农药学报*, 2015, 17(1): 115-118.
ZHANG Z L, LI X Q, WANG H, et al. Preliminary studies on synergism and mechanisms of six organosilicon additives on fomesafen[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2015, 17(1): 115-118.

[3] MELO A A, USANO-ALEMANY J, GUEDES J V C, et al. Impact of tank-mix adjuvants on deposit formation, cuticular penetration and rain-induced removal of chlorantraniliprole[J]. *Crop Prot*, 2015, 78: 253-262.

[4] 张萍, 姜兴印, 谭海丽, 等. 四种喷雾助剂对啮菌酯在玉米叶片上耐雨水冲刷能力及其对玉米安全性的影响[J]. *农药学报*, 2018,

20(2): 239-248.
ZHANG P, JIANG X Y, TAN H L, et al. Effects of four spray adjuvants on the rainfastness of azoxystrobin on maize leaf surfaces and their effect on maize safety[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2018, 20(2): 239-248.

[5] 翟中和, 王喜忠, 丁明孝. 细胞生物学[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2011: 6-1.
ZHAI Z H, WANG X Z, DING M X. Cell biology[M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2011: 6-1.

[6] 袁博, 周张涛, 郑竟成, 等. 大豆卵磷脂及其复配对 DHA 藻油氧化稳定性的影响 [J]. *中国食品添加剂*, 2018(8): 152-156.
YUAN B, ZHOU Z T, ZHENG J C, et al. Effect of soybean lecithin and multiple antioxidants on oxidation stability of DHA algal oil[J]. *China Food Additives*, 2018(8): 152-156.

[7] 祝造成, 栾立标. 脂质体天然高分子水凝胶给药系统的研究进展 [J]. *药学进展*, 2018, 42(5): 380-387.
ZHU H C, LUAN L B. Research progress in liposome-in-natural polymer hydrogel drug delivery systems[J]. *Progress in Pharmaceutical Sciences*, 2018, 42(5): 380-387.

[8] 李国辉, 钟其顶, 王道兵, 等. HPLC 法测定大豆磷脂及其保健品中 PC、PI、PE[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(6): 67-70.
LI G H, ZHONG Q D, WANG D B, et al. Determination of the concentrations of phosphatidylcholine, phosphatidyl ethanolamine and phosphatidylinositol in soybean phospholipids and health care products by HPLC[J]. *Food Res Develop*, 2015, 36(6): 67-70.

[9] 高燕. 抗肿瘤药多柔比星新型递送系统的研究进展[J]. *药物生物技术*, 2018, 25(3): 273-276.
GAO Y. Research progress of new delivery system for antitumor drug doxorubicin[J]. *Pharmaceutical Biotechnology*, 2018, 25(3): 273-276.

[10] 贺军波, 史浩, 张维农, 等. 基于脂质纳米载体农药包埋体系的研究进展 [J]. *农药*, 2017, 56(10): 703-707.
HE J B, SHI H, ZHANG W N, et al. Research progress of pesticide encapsulation based on lipid nano-carriers[J]. *Agrochemicals*, 2017, 56(10): 703-707.

[11] 张珺. 莫西沙星脂质体凝胶肺部靶向介入给药缓释系统的研究 [D]. 哈尔滨: 黑龙江中医药大学, 2014.
ZHANG J. Study on moxifloxacin liposome gel for lung targeting drug delivery system[D]. Harbin: Heilongjiang University of Chinese Medicine, 2014.

[12] 郝艳丽. 盐酸托扑替康普通、长循环及温度敏感脂质体的研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2005.
HAO Y L. Studies on conventional, long-circulating and temperature-sensitive liposomes containing topotecan hydrochloride[D]. Shenyang: Shenyang Pharmaceutical University, 2005.

[13] 吕佳书, 郭欣, 姜思亮, 等. 透明质酸脂质体制备及释放研究[J]. *黑龙江医药科学*, 2018, 41(3): 47-48.
LU J S, GUO X, JIANG S L, et al. Study on formulation and release of hyaluronic acid liposomes[J]. *Heilongjiang Med Pharm*, 2018, 41(3): 47-48.

[14] 厦门 WTO 工作站. 欧洲允许卵磷脂作为食品添加剂使用[J]. *食品与生物技术学报*, 2017, 36(5): 546.

- Xiamen WTO Workstation. Europe allow phosphatidylcholine using as a food adjuvant[J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2017, 36(5): 546.
- [15] BABCOCK J M, GERWICK C B, HUANG J X, et al. Biological characterization of sulfoxaflor, a novel insecticide[J]. *Pest Manag Sci*, 2011, 67(3): 328-334.
- [16] 顾林玲. 美国拟登记陶氏益农氟啶虫胺脒(sulfoxaflor)[J]. *现代农药*, 2013, 12(2): 43.
- GU L L. The United States intends to register sulfoxaflor from Dow AgroSciences[J]. *Mod Agrochem*, 2013, 12(2): 43.
- [17] SPARKS T C, WATSON G B, LOSO M R, et al. Sulfoxaflor and the sulfoximine insecticides: chemistry, mode of action and basis for efficacy on resistant insects[J]. *Pestic Biochem Physiol*, 2013, 107(1): 1-7.
- [18] LIAO X, MAO K K, ALI E, et al. Temporal variability and resistance correlation of sulfoxaflor susceptibility among Chinese populations of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål)[J]. *Crop Protection*, 2017, 102: 141-146.
- [19] ZHANG X L, LIAO X, MAO K K, et al. The role of detoxifying enzymes in field-evolved resistance to nitenpyram in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* in China[J]. *Crop Protection*, 2017, 94: 106-114.
- [20] ROBERTSON J L, RUSSELL R M, PREISLER H K, et al. Bioassays with Arthropods[M]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007: 6-14.
- [21] 常菊花, 何月平. 应用 Polo 软件进行农药毒力数据的比较分析[J]. *浙江农业学报*, 2014, 26(6): 1552-1557.
- CHANG J H, HE Y P. The analysis for comparing the pesticide toxicity data using the Polo software[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2014, 26(6): 1552-1557.
- [22] 封云涛, 李光玉, 郭晓君, 等. 两种表面活性助剂在农药减量化防治小菜蛾中的应用[J]. *农药学报*, 2015, 17(5): 603-609.
- FENG Y T, LI G Y, GUO X J, et al. Study on application of two kinds of surfactant in dose-reduced chemical control of *Plutella xylostella* (Linnaeus)[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2015, 17(5): 603-609.
- [23] VANCE D E, VANCE J E. Preface[M]//VANCE D E, VANCE J E. eds. *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes*. Elsevier, 2008: v-vi.
- [24] GREGORIADIS G. Liposome technology: Entrapment of drugs and other materials into liposomes[M/OL]. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2006: 4-19. https://www.crcpress.com/Liposome-Technology-Entrapment-of-Drugs-and-Other-Materials-into-Liposomes/Gregoriadis/p/book/9780849388286?source=crcpress.com&utm_source=productpage&utm_medium=website&utm_campaign=RelatedTitles.
- [25] PATRICK G L. An introduction to medicinal chemistry[M]. 6th ed. Oxford: Oxford University Press, 2017: 4-20.
- [26] SANDEEP K. Interaction of liposomes with cancer cells: Influence of liposome surface properties on cellular uptake[J]. *Int J Pharm Bio Sci*, 2016, 7(1): 199-205.
- [27] TOMLIN C D S. The pesticide manual, a world compendium[M/OL]. 15th ed. Alton, Hampshire: BCPC, 2009: 3-10. <https://www.bcpc.org/product/the-pesticide-manual-18th-edition>.

(责任编辑: 金淑惠)