

◆ 环境与残留 ◆

牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓的急性和繁殖毒性及土壤微生物毒性研究

陈红英^{1,2}, 袁善奎^{1,2*}, 王永江^{1,2}, 宋伟华^{1,2}, 刘琼^{1,2}, 郝身伟^{1,2}

(1. 农业农村部农药检定所, 北京 100125; 2. 农业农村部农药评价重点实验室, 北京 100125)

摘要:在室内条件下采用人工土壤法和CO₂吸收法分别测定了牛脂胺聚氧乙烯醚对赤子爱胜蚓的急性毒性、繁殖毒性,以及对土壤微生物的毒性。试验结果表明,蚯蚓对牛脂胺聚氧乙烯醚的急性LC₅₀(14 d) > 1 600 mg/kg(干土),毒性等级为低毒;蚯蚓的繁殖LC₅₀(28 d) > 1 000 mg/kg(干土),无可观察效应浓度(NOEC)为1 000 mg/kg(干土);对3种土壤(黑土、褐土、潮土)中的土壤微生物毒性等级均为低毒。牛脂胺聚氧乙烯醚对土壤生物的毒性较低。

关键词:牛脂胺聚氧乙烯醚;土壤微生物;蚯蚓;急性毒性;繁殖毒性

中图分类号:TQ 450.2 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2025.05.006

Study on the acute and reproductive toxicity effects of polyoxyethylene tallow amine to earthworms and soil microorganism

CHEN Hongying^{1,2}, YUAN Shankui^{1,2*}, WANG Yongjiang^{1,2}, SONG Weihua^{1,2}, LIU Qiong^{1,2}, HAO Shenwei^{1,2}

(1. Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China; 2. Key Laboratory of Pesticide Evaluation of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China)

Abstract: Under laboratory conditions, the acute and reproductive toxicities of polyoxyethylene tallow amine to *Eisenia fetida* were determined using artificial soil method and carbon dioxide absorption method, as well as its toxicity to soil microorganisms. The results showed that the acute toxicity LC₅₀ (14 d) of polyoxyethylene tallow amine on earthworms was more than 1 600 mg/kg, and the toxicity level was low. The reproductive toxicity LC₅₀ (28 d) on earthworm was more than 1 000 mg/kg, the NOEC were 1 000 mg/kg. The toxicities of polyoxyethylene tallow amine to soil microorganism in three types of soil (black soil, brown soil, and fluvo-aquic soil) were all low. Polyoxyethylene tallow amine had low toxicity level to soil organisms.

Key words: polyoxyethylene tallow amine; soil microorganism; earthworm; acute toxicity; reproductive toxicity

农药原药大多不溶于水或油,无法直接使用,几乎都需要添加农药助剂才能成为具有实际使用价值的农药制剂^[1]。农药助剂本身一般不具有生物活性,但并不意味着其对人体或环境不具有危害性^[2]。有研究表明,部分农药助剂及其代谢物具有三致效应(致癌性、致畸性、致突变性),内分泌干扰作用,繁殖损伤,神经毒性等健康危害^[3]。各国都制定了相关的农药管理法规来规范农药助剂的使用,例

如在欧盟和美国,农药助剂受到严格的监管,只有经过批准的助剂才可以用于农药制剂。我国目前虽然没有专门针对农药助剂进行登记管理,但会关注农药活性成分添加助剂后的整体毒性变化,并禁止壬基酚等明确具有毒性的助剂用于农药加工。

牛脂胺聚氧乙烯醚(polyoxyethylene tallow amine, POE-tallowamine)是一种非离子型表面活性剂,由牛脂胺和环氧乙烷通过加成反应制得。其具

收稿日期:2025-01-09

作者简介:陈红英(1980—),女,四川南充人,学士,主要从事农药生态毒理学研究。E-mail: kelly-chy@163.com

通信作者:袁善奎(1976—),男,湖北利川人,博士,研究员,主要从事农药登记管理。E-mail: skyuan76@sina.com

有良好的乳化、分散和润湿性能,在草甘膦制剂加工过程中使用量较大。牛脂胺聚氧乙烯醚通过促进农药活性成分穿透叶片角质层而发挥作用,增加了农药的生物活性和防治效果^[4]。然而,欧洲食品安全局(EFSA)多项研究报告表明,牛脂胺聚氧乙烯醚毒性明显大于有效成分草甘膦^[5]。草甘膦在我国的使用量相对较高,随着草甘膦制剂的广泛使用,牛脂胺聚氧乙烯醚的释放量也随之上升,农田土壤可能成为牛脂胺聚氧乙烯醚的重要载体^[3]。蚯蚓作为陆生生物与土壤生物之间物质传递的桥梁,是土壤动物区系的代表种群。此外,土壤生态系统还包括种类繁多的微生物,对土壤微生物呼吸作用强度的评价是评估土壤生物种群整体活性的关键指标,也是土壤肥力的重要指标之一^[6]。

目前,牛脂胺聚氧乙烯醚对环境有益生物的影响已引起关注,但其对土壤生态环境的潜在风险鲜有报道^[7]。由于该物质具有一定的环境持久性,可能会在环境中积累并对生态系统产生长期影响,可引起生殖毒性、遗传毒性、肝脏损伤等,其使用还会对水体和土壤造成一定的污染。本文测定了98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓的急性毒性、繁殖毒性,以及对土壤微生物的毒性,旨在为全面评估该农药助剂的环境风险提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试生物

赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*),购自北京绿环靖宇科贸有限公司。试验选用2月龄以上,体重在0.30~0.60 g,环带明显且健康的成年蚯蚓。

1.1.2 供试土壤

人工土壤成分及配比:泥炭藓10%(pH 5.5~6.0)、高岭土20%(高岭石占比大于30%)、工业砂68%(50~200 μm颗粒占比大于50%)、碳酸钙2%(调节人工土壤pH至6.0±0.5)。

土壤A:黑土,采自吉林省公主岭市吉林省农业科学院试验地,为新鲜土壤,有机质质量分数为42.8 g/kg, pH为7.72,阳离子交换量为26.4 cmol/kg。

土壤B:褐土,采自河北省唐山市迁西县新立庄村,为新鲜土壤,有机质质量分数为10 g/kg, pH为6.64,阳离子交换量为15.3 cmol/kg。

土壤C:潮土,采自河北省廊坊市中国农业科学院廊坊科研中试基地,为新鲜土壤,有机质质量分数为4.66 g/kg, pH为8.87,阳离子交换量为8.3 cmol/kg。

以上土壤在室内自然风干,过20目筛后备用。

1.1.3 标准溶液

CO₂吸收液:用不含CO₂的蒸馏水配制并标定0.100 mol/L氢氧化钠水溶液,作为CO₂吸收液。

滴定试剂:用蒸馏水配制并标定0.050 mol/L标准盐酸水溶液;1 mol/L氯化钡溶液,用不含CO₂的蒸馏水配制;1%酚酞溶液为指示剂。

1.1.4 供试物

98%牛脂胺聚氧乙烯醚,由山东欣广化学有限公司生产。

1.1.5 仪器设备

1 L透明标本瓶,瓶口处用浸湿的纱布盖住,在保证空气交换和透光性的同时防止蚯蚓逃逸;2 L标本瓶(带盖);通用型滴定管(25 mL);锥形瓶(50 mL);PRX-350B智能人工气候箱,宁波海曙赛福实验仪器厂;BSA124S电子天平,德国赛多利斯公司。

1.2 试验方法

1.2.1 蚯蚓急性毒性试验

蚯蚓急性毒性试验参照《化学农药环境安全评价试验准则 第15部分:蚯蚓急性毒性试验》(GB/T 31270.15—2014)^[8]进行。采用人工土壤法,在预试验基础上设置100、200、400、800和1 600 mg/kg(干土)5个浓度组,并设空白对照组。向标本瓶中加入500 g人工土壤干土(标本瓶中土壤厚度不低于8 cm),加入配制好的供试药液充分拌匀,再加入适量蒸馏水调节土壤含水量,占土壤干重的30%~35%。每个浓度组均设3个重复,每个重复10条蚯蚓。将标本瓶放置在人工气候箱中培养,培养温度为(20±2)℃,相对湿度保持在70%~90%,连续光照,光照强度为400~800 Lx。于试验第7天和第14天观察并记录蚯蚓的中毒症状和死亡数(用探针轻触蚯蚓尾部,蚯蚓无反应则为死亡),及时清除死亡蚯蚓。

1.2.2 蚯蚓繁殖毒性试验

蚯蚓慢性毒性试验参照《化学农药 蚯蚓繁殖试验》(NY/T 3091—2017)^[9]进行。采用人工土壤法,根据蚯蚓急性毒性试验结果可知,蚯蚓繁殖正式试验为限度试验,即设置1 000 mg/kg(干土)1个限度浓度组,并设空白对照组。对照组设4个重复,处理组设8个重复,每个重复10条蚯蚓。试验共历时8周。试验第28天,对存活的成蚓进行观察、计数,并将其从土壤中移除。将含有蚓茧的土壤在相同条件下继续培养4周后,观察并统计蚓茧和幼蚓的数量。试验期间,采用切碎的南瓜条作为饲料。于试验开始后至试验第28天提供饲料,每个容器投放5 g饲料,每

7 d喂食1次。

1.2.3 土壤微生物毒性试验

土壤微生物毒性试验参照《化学农药环境安全评价试验准则 第16部分 :土壤微生物毒性试验》(GB/T31270.16—2014)^[10]进行。采用CO₂吸收法 根据供试物田间推荐最大用量 ,将推荐最大用量的1倍、10倍和100倍量设定为试验药剂浓度。将配制好的药剂拌入称量好的土壤中 ,得到15、150、1 500 mg/kg(土壤)3个试验土壤处理组。将装有土样的烧杯分别与另一个装有40 mL 0.100 mol/L NaOH水溶液(用于吸收土壤微生物呼吸所释放的CO₂)的烧杯一起放入2 L标本瓶中 ,盖上瓶盖 ,置于(25±1)℃恒温箱中培养15 d ,无需光照。同时设置不加药剂的空白对照组 ,每个处理浓度组与空白对照组均设置3个重复。在第1、2、4、7、11、15天时更换出密闭瓶中装有碱液的烧杯 ,测定吸收的CO₂ ,同时换入标定过的NaOH水溶液 ,继续培养。

1.3 数据处理及毒性评价

采用SPSS 22.0对试验数据进行统计分析。通过Probit回归分析方法计算98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓的7 d和14 d急性毒性半致死浓度(LC₅₀)及其95%置信限 ,并参照GB/T 31270.15—2014进行蚯蚓急性毒性分级。在蚯蚓繁殖毒性试验中 ,计算其对蚯蚓的LC₅₀(28 d)和95%置信限。采用单因素方差分析进行方差均一性检验后 ,分别选用LSD法和Dunnett法确定处理组与对照组之间蚓茧数和幼蚓数的差异。*P*>0.05表示差异不显著 ,0.01<*P*<0.05表示差异显著 ,*P*<0.01表示差异极显著。土壤微生物毒性试验中 ,计算出每处理不同时间段内的CO₂释放量 ,以及药剂对土壤CO₂释放量的影响 ,并参照GB/T

31270.16—2014进行土壤微生物的毒性等级划分。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓急性毒性试验结果

急性毒性试验结果表明 ,98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓的LC₅₀(14 d)大于1.60×10³ mg/kg(干土)。依据《化学农药环境安全评价试验准则 第15部分 :蚯蚓急性毒性试验》中农药对蚯蚓的毒性等级划分 ,98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓14 d急性毒性表现为低毒 ,各处理组均无明显的中毒症状。

2.2 蚯蚓繁殖毒性试验结果

繁殖毒性试验结果表明 ,98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓的LC₅₀(28 d)大于1.00×10³ mg/kg(干土) ,各处理组均无明显中毒症状。供试物对蚯蚓染毒28 d后体重的影响见表1。空白对照和药剂处理组蚯蚓平均体重减退率分别为-2.38%和-1.89% ,经差异显著性检验(*P*大于0.05) ,牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓体重的影响与空白对照组相比无显著性差异。在处理质量分数为1 000 mg/kg(干土)时 ,对蚯蚓体重无可观察效应。因此 ,98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓体重NOEC为1 000 mg/kg(干土)。

98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓蚓茧数和幼蚓数的影响结果见表1。经差异显著性检验(*P*均大于0.05) ,牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓蚓茧数和幼蚓数的影响与空白对照组相比无显著性差异。在处理质量分数为1 000 mg/kg(干土)时 ,对蚯蚓蚓茧数和幼蚓数无可观察效应。因此 ,98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓蚓茧数和幼蚓数NOEC均为1 000 mg/kg(干土)。由此可见 ,牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓生长和繁殖无明显的影响。

表 1 98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓体重、蚓茧和幼蚓的影响

处理	序号	对体重影响				对蚓茧影响			对幼蚓影响			
		平均体重/g		减退率/ %	平均值 ± 标准误/%	<i>P</i>	蚓茧数/ 个	平均值 ± 标准误/%	<i>P</i>	幼蚓数/ 条	平均值 ± 标准误/%	<i>P</i>
		0 d	28 d									
CK	1	0.432 0	0.476 1	-2.78	-2.38 ± 0.28		65	67.25 ± 1.11		168	172.50 ± 2.10	
	2	0.456 3	0.464 5	-1.80			66			175		
	3	0.462 6	0.476 1	-2.92			70			177		
	4	0.438 6	0.447 4	-2.01			68			170		
1 000 mg/kg	1	0.457 5	0.4701	-2.75	-1.89 ± 0.42	0.464	68	65.25 ± 1.19	0.312	180	174.25 ± 1.56	0.525
	2	0.453 7	0.464 9	-2.47			66			177		
	3	0.430 9	0.445 7	-3.43			65			175		
	4	0.473 7	0.480 5	-1.44			70			174		
	5	0.471 3	0.480 5	-1.95			65			166		
	6	0.468 1	0.475 7	-1.62			60			175		
	7	0.440 4	0.437 8	0.59			67			177		
	8	0.468 5	0.478 2	-2.07			61			170		

2.3 土壤微生物毒性试验结果

98%牛脂胺聚氧乙烯醚对土壤微生物的毒性试验结果见表2、图1。当土壤A中牛脂胺聚氧乙烯醚质量分数分别为15、150、1 500 mg/kg时 ,其对土壤微生物的CO₂释放量影响率分别为22.56%、32.34%和89.10%。经差异显著性检验($P<0.05$) ,15、150、1 500 mg/kg处理组与对照组间的CO₂释放量影响率差异显著 ,均表现出促进作用 ;15、150 mg/kg处理组与1 500 mg/kg处理组间的CO₂释放量影响率差异显著 ;15 mg/kg处理组与150 mg/kg处理组间CO₂释放量影响率差异不显著。

当土壤B中牛脂胺聚氧乙烯醚质量分数分别为15、150、1 500 mg/kg时 ,其对土壤微生物的CO₂释放

量影响率分别为0.49%、10.67%和88.36%。经差异显著性检验($P<0.05$) ,1 500 mg/kg处理组与对照组间的CO₂释放量影响率差异显著 ,表现出促进作用 ;15、150 mg/kg处理组与对照组间的CO₂释放量影响率差异不显著 ;15、150 mg/kg处理组与1 500 mg/kg处理组间的CO₂释放量影响率差异显著。

当土壤C中牛脂胺聚氧乙烯醚质量分数分别为15、150、1500 mg/kg时 ,其对土壤微生物的CO₂释放量影响率分别为5.87%、16.13%和8.51%。经差异显著性检验($P<0.05$) ,150 mg/kg处理组与对照组间的CO₂释放量影响率差异显著 ;15.0、1 500 mg/kg处理组与对照组间的CO₂释放量影响率差异不显著 ;3个浓度处理组间CO₂释放量影响率差异不显著。

表 2 牛脂胺聚氧乙烯醚对 3 种土壤微生物 CO₂ 释放量的影响

时间/d	药剂浓度/ (mg/kg)	土壤A		土壤B		土壤C	
		CO ₂ 释放量/(mg/g)	影响率/%	CO ₂ 释放量/(mg/g)	影响率/%	CO ₂ 释放量/(mg/g)	影响率/%
0~1	CK	0.305 1±0.015 5		0.082 1±0.005 9		0.187 7±0.031 0	
	15.0	0.258 1±0.041 1	-15.40	0.205 3±0.005 9	150.06	0.299 2±0.020 3	59.40
	150	0.310 9±0.015 5	1.90	0.070 4±0.010 2	-14.25	0.258 1±0.015 5	37.51
	1 500	0.334 4±0.026 9	9.60	0.222 9±0.031 0	171.50	0.322 7±0.005 9	71.92
1~2	CK	0.217 1±0.005 9		0.305 1±0.021 6		0.387 2±0.010 2	
	15.0	0.346 1±0.015 5	59.42	0.228 8±0.026 9	-25.01	0.340 3±0.021 2	-12.11
	150	0.310 9±0.011 7	43.21	0.205 3±0.015 5	-32.71	0.440 0±0.040 7	13.64
	1 500	0.434 1±0.005 9	99.95	0.340 3±0.051 1	11.54	0.375 5±0.021 2	-3.02
2~4	CK	0.217 1±0.0155 2		0.240 5±0.015 5		0.357 9±0.021 2	
	15.0	0.328 5±0.0155 2	51.31	0.187 7±0.005 9	-21.95	0.316 8±0.010 2	-11.48
	150	0.310 9±0.0155 2	43.21	0.205 3±0.067 7	-14.64	0.440 0±0.040 6	22.94
	1 500	0.533 9±0.005 9	145.92	0.398 9±0.029 3	65.86	0.381 3±0.035 7	6.54
4~7	CK	0.264 0±0.010 2		0.187 7±0.005 9		0.369 6±0.010 2	
	15.0	0.346 1±0.025 6	31.10	0.187 7±0.015 5	0.00	0.363 7±0.005 9	-1.60
	150	0.357 9±0.005 9	35.57	0.164 3±0.011 7	-12.47	0.398 9±0.015 5	7.93
	1 500	0.633 6±0.030 5	140.00	0.498 7±0.048 0	165.69	0.393 1±0.015 5	6.36
7~11	CK	0.287 5±0.005 9		0.205 3±0.011 7		0.393 1±0.005 9	
	15.0	0.352 0±0.040 7	22.43	0.205 3±0.005 9	0.00	0.410 7±0.015 5	4.48
	150	0.416 5±0.015 5	44.87	0.222 9±0.005 9	8.57	0.434 1±0.005 9	10.43
	1 500	0.528 0±0.050 8	83.65	0.416 5±0.005 9	102.87	0.398 9±0.005 9	1.48
11~15	CK	0.269 9±0.005 9		0.187 7±0.005 9		0.305 1±0.005 9	
	15.0	0.281 6±0.010 2	4.33	0.199 5±0.005 9	6.29	0.387 2±0.040 6	26.91
	150	0.357 9±0.025 6	32.60	0.211 2±0.017 6	12.52	0.352 0±0.030 5	15.37
	1 500	0.486 9±0.056 0	80.40	0.398 9±0.015 5	112.52	0.299 2±0.010 2	-1.93
总计	CK	1.560 5±0.015 5a		1.208 5±0.041 1a		2.000 5±0.065 3a	
	15.0	1.912 5±0.066 1b	22.56	1.214 4±0a	0.49	2.117 9±0.041 1ab	5.87
	150	2.065 1±0.021 2b	32.34	1.079 5±0.087 6a	10.67	2.323 2±0.134 4b	16.13
	1 500	2.950 9±0.112 4c	89.10	2.276 3±0.136 5b	88.36	2.170 7±0.048 0ab	8.51

注 :总计行 CO₂ 释放量后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

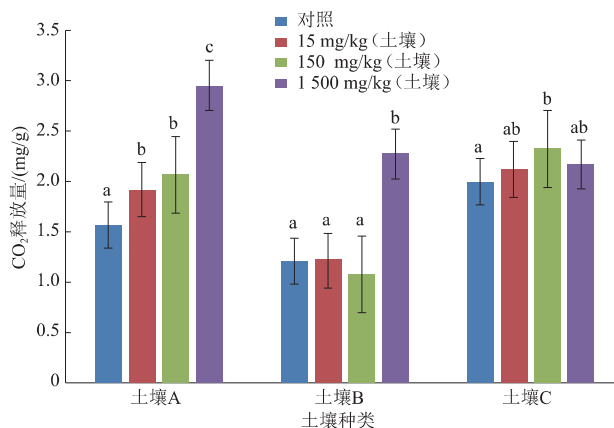


图1 牛脂胺聚氧乙烯醚对3种土壤呼吸作用的影响

按表2所列结果绘制CO₂释放量-培养时间关系曲线,见图2~图4。图2、图3显示,在质量分数1500 mg/kg处理下,土壤A、B均于第7天达到CO₂释放量最高值,之后呈下降趋势。在低质量分数处理下,各个时间段CO₂释放量与对照组接近,牛脂胺聚氧乙烯醚在整个试验阶段对土壤A均表现出促进作用;在2~7 d其对土壤B表现出较弱的抑制作用,在7~15 d释放量趋于平稳,与对照组一致。图4显示,在不同质量分数处理下,土壤C各个时间段CO₂释放量与对照组一致,11 d后CO₂释放量呈下降趋势。由此说明牛脂胺聚氧乙烯醚处理后不同土壤的CO₂释放量存在一定的差异。

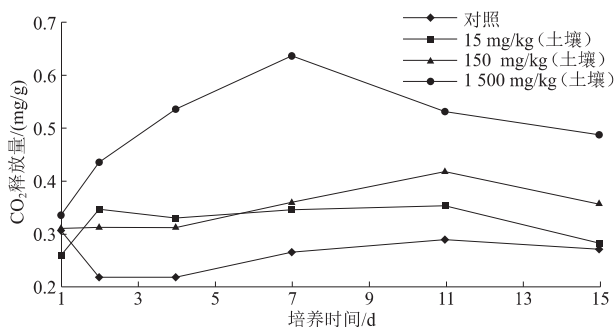


图2 牛脂胺聚氧乙烯醚对土壤A呼吸作用的影响

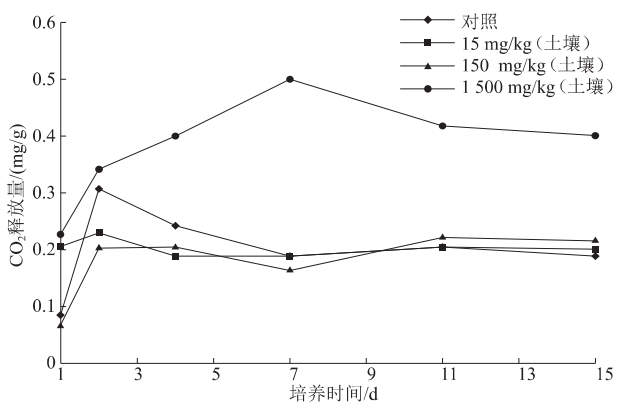


图3 牛脂胺聚氧乙烯醚对土壤B呼吸作用的影响

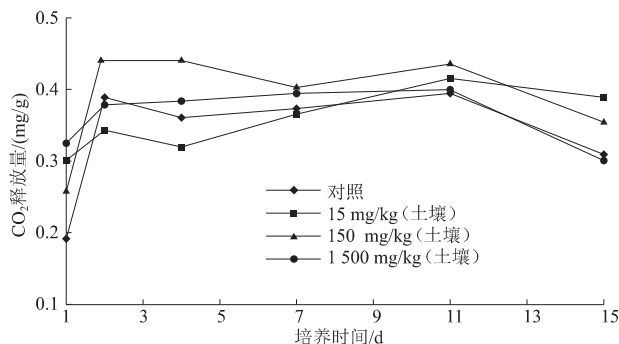


图4 牛脂胺聚氧乙烯醚对土壤C呼吸作用的影响

3 结论与讨论

本研究主要测试了98%牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓急性毒性、蚯蚓繁殖毒性,以及土壤微生物毒性。结果显示,牛脂胺聚氧乙烯醚对蚯蚓急性毒性和土壤微生物毒性等级均为低毒。蚯蚓繁殖毒性结果显示,在1000 mg/kg(干土)处理下无可观察效应,蚯蚓体重、蚓茧数和幼蚓数与对照组相比无显著性差异。土壤微生物毒性结果显示,牛脂胺聚氧乙烯醚对3种土壤微生物的CO₂总释放量存在差异。在整个试验周期内,其对土壤A中微生物表现出明显的促进作用。其高浓度处理对土壤B中微生物表现出明显的促进作用;其低浓度处理在2~7 d时表现出较弱的抑制作用,7~15 d时趋于平稳,与对照组一致。其对土壤C中微生物与对照组一致,处理11 d后CO₂释放量呈下降趋势。3种土壤微生物的CO₂总释放量存在差异的原因可能是土壤A中有机质含量相对较高,微生物种群数量较大,牛脂胺聚氧乙烯醚加入土壤后被土壤微生物作为碳源利用,加速了微生物的生长。土壤间差异可能是因为土壤采集地和土壤性状不同,以及不同土壤间微生物种群结构不同而产生,这一现象反映了不同土壤中微生物种群间的差异和土壤微生物对添加碳源的利用在时间上的差异。基于上述研究结果,牛脂胺聚氧乙烯醚对土壤动物和土壤微生物的风险较低,但本文的研究仅限于在室内条件下进行。然而在实际的农业生产活动中,农药助剂牛脂胺聚氧乙烯醚在田间大量频繁使用是否会造成土壤微生物活性的改变,是否对土壤动物繁殖及种群延续产生影响等,还有待进一步的深入研究。

参考文献

- [1] 姜锦林,单正军,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.

(下转第38页)

- 2015, 31(2): 203-207.
- [6] 张琪, 赵成, 卢晓霞, 等. 新烟碱类杀虫剂对非靶标生物毒性效应的研究进展[J]. 生态毒理学报, 2020, 15(1): 56-71.
- [7] 农业农村部农药检定所. 中国农药登记数据手册2023版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 145-148.
- [8] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [9] European Commission. Commission regulation (EU) 2023/782 amending annexes and I to regulation (EC) No 396/2005 as regards maximum residue levels for thiamethoxam and clothianidin in or on certain products[J]. Official Journal of the European Union, 2023, 102: 12-15.
- [10] 杜鑫, 彭海燕, 覃明丽, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法同时检测草莓中4种农药残留量[J]. 农药科学与管理, 2022, 43(5): 30-37.
- [11] 刘彭, 郭礼强, 李亚静, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法同时测定生活饮用水中11种新烟碱类杀虫剂的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2024, 60(1): 55-59.
- [12] 黄丁宁, 缪丹旋, 赵巧灵, 等. QuEChERS结合超高效液相色谱-串联质谱法同时测定果蔬中12种新烟碱类农药残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(9): 186-194.
- [13] 门雪, 吴兴强, 仝凯旋, 等. 改进的QuEChERS法结合液相色谱-高分辨质谱筛查热带水果中33种新烟碱类杀虫剂及杀菌剂[J]. 分析测试学报, 2022, 41(6): 820-826.
- [14] 李国烈, 杜鑫, 苏旭, 等. 超高效液相色谱-串联质谱方法测定桑葚中吡虫啉和啉虫脒残留量[J]. 农药科学与管理, 2018, 39(1): 41-46; 52.
- [15] 赵飞, 张武, 张毓秀, 等. 高效液相色谱-串联质谱法检测柑橘中4种新烟碱类农药的残留量[J]. 农药科学与管理, 2023, 44(11): 45-51; 62.
- [16] 平华, 赵天宇, 马智宏, 等. 分散固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定土壤中新烟碱类农药及其代谢物的残留量[J]. 理化检验-化学分册, 2023, 59(11): 1276-1283.
- [17] 江阳, 陈雨露, 赵咏梅, 等. 高效液相色谱-串联质谱法同时测定生活饮用水中9种新烟碱类农药[J]. 预防医学情报杂志, 2023, 39(12): 1513-1519.
- [18] 高娜, 孙程鹏, 许炳雯, 等. 液相色谱串联质谱法测定不同蔬菜中农药多残留的基质效应[J]. 食品科技, 2021, 46(4): 310-317.
- [19] 张海燕, 李艳美, 华鹏. 气相色谱-三重四级杆串联质谱法测定4种果品中99种农药残留[J]. 农药学报, 2023, 25(1): 193-209.
- [20] KRUIVE A, ALLAN KUNNAPAS, HERODES K, et al. Matrix effects in pesticide multi-residue analysis by liquid chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1187(1/2): 58-66.
- [21] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 化学分析方法验证通则: GB 5009.295—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [22] 全国认证认可标准化技术委员会. GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范食品理化检测》理解与实施[M]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

(编辑: 顾林玲)

(上接第32页)

- [2] 卜元卿, 王咎畅, 智勇, 等. 农药制剂中助剂使用状况调研及风险分析[J]. 农药, 2014, 53(12): 932-936.
- [3] 李敏洁, 张琛, 李晓慧, 等. 农药助剂牛脂胺聚氧乙烯醚的毒性及其分析技术研究进展[J]. 农药学报, 2023, 25(2): 310-318.
- [4] BEDNAROVA A, KROPF M, KRISHNAN N. The surfactant polyethoxylated tallowamine (POEA) reduces lifespan and inhibits fecundity in *Drosophila melanogaster*- in vivo and in vitro study [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2020, 188: 109883.
- [5] EFSA. Request for the evaluation of the toxicological assessment of the co-formulant POE- tallowamine [J]. EFSA J, 2015, 13(11): 4303.
- [6] 陈祖义, 米春云. 农药杀虫单对土壤微生物功能的影响-对土壤呼吸的影响[J]. 环境科学, 1987, 8(1): 36-39.
- [7] 张灿光, 杜军辉, 李华, 等. 农药助剂对蚯蚓的急性毒性[J]. 生态毒理学报, 2014, 9(3): 593-602.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学农药环境安全评价试验准则 第15部分: 蚯蚓急性毒性试验: GB/T 31270.15—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [9] 中华人民共和国农业部. 化学农药 蚯蚓繁殖试验准则: NY/T 3091—2017[S]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学农药环境安全评价试验准则 第16部分: 土壤微生物毒性试验: GB/T 31270.16—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

(编辑: 顾林玲)

欢迎订阅《现代农药》(双月刊) 定价: 120 元/年

编辑部电话: 025-86581148 QQ: 906491600 联系人: 靳红华