

◆ 综述与专论 ◆

新烟碱类杀虫剂呋虫胺的研究进展

刘子琪^{1,2}, 袁龙飞¹, 廖先骏³, 李莉¹, 李薇¹, 程有普^{2*}, 陈增龙^{1*}

(1. 中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101 2. 天津农学院, 天津 300384 3. 农业农村部农药检定所, 北京 100125)

摘要:新烟碱类农药自20世纪80年代上市以来便受到广泛应用。呋虫胺作为典型的第三代新烟碱类杀虫剂,因其高效、广谱等优点在全球二十多个国家登记使用。近年来,随着呋虫胺的大量使用,其对非靶标生物的潜在危害,以及在农业生产中大量投入导致的环境风险引起了人们的重点关注。因此,阐明呋虫胺的生物活性和生态毒理,揭示其环境行为归趋,这对于呋虫胺的生态风险评价与科学合理使用具有重要意义。笔者旨在综述呋虫胺对靶标害虫的生物活性、对非靶标生物的生态毒理,及其在生态环境中的耗散动力学规律,并对其应用前景进行展望,以期对呋虫胺的合理使用和科学管理提供有效参考。

关键词:新烟碱类杀虫剂, 呋虫胺, 生物活性, 生态毒性, 消解动力学

中图分类号:TS 207.5+3 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2021.01.002

Research Progress of Neonicotinoid Insecticide Dinotefuran

LIU Ziqi^{1,2}, YUAN Longfei¹, LIAO Xianjun³, Li Li¹, LI Wei¹, CHENG Youpu^{2*}, CHEN Zenglong^{1*}

(1. State Key Laboratory of integrated control of agricultural pest and rodent, Institute of zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China; 3. Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China)

Abstract: Neonicotinoid pesticides have been given extensively concern since they were launched in the 1980s. As a typical third-generation neonicotinoid insecticide, dinotefuran has been widely used in more than twenty countries around the world because of its high efficiency and broad spectrum. In recent years, dinotefuran shows potential hazardous to non-target organisms and results in the ecological environment pollution by widespread application in agricultural production, which have brought to people's attention. Therefore, understanding the biological activity and ecotoxicity of dinotefuran, and demonstrating the environmental fate of dinotefuran is of great significance to the ecological risk assessment and scientific application of dinotefuran. The current study reviews dinotefuran with respect to the biological activity to target pests, the ecotoxicity to non-target organisms, the dissipation dynamics in the ecological environment, and finally puts forward prospects for its application. It can provide reference for the reasonable application and scientific management of dinotefuran in the future.

Key words: neonicotinoid insecticides; dinotefuran; bioactivity; ecotoxicity; dissipation dynamics

新烟碱类杀虫剂作用于昆虫中枢神经系统中烟碱型乙酰胆碱受体(nAChRs),通过高效阻断昆虫的正常神经传递致使昆虫死亡,是全球用量最大的

杀虫剂品种,登记国家超过120个^[1]。呋虫胺属于第三代新烟碱类杀虫剂,国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)命名为(*RS*)-1-甲基-2-硝基-3-(四氢-3-咪喃

收稿日期:2020-07-31

基金项目:国家自然科学基金(31801771)

作者简介:刘子琪(1997—),女,黑龙江大兴安岭人,硕士研究生,研究方向为农药残留与分子毒理学研究。E-mail: lziqi0607@163.com

通信作者:陈增龙(1988—),男,山东青岛人,助理研究员,博士,主要从事农药残留与分子毒理学研究。E-mail: chenzenglong@ioz.ac.cn

共同通讯作者:程有普(1969—),男,天津人,副教授,博士,从事农药残留及其环境行为方向的研究。E-mail: chengyoupu@tjau.edu.cn

甲基)胍。与其他烟碱类杀虫剂相比,其不含氯原子和芳环基团,具有独特的四氢-3-咪喃甲基结构,因此也被称为咪喃烟碱^[2]。咪虫胺与传统新烟碱类杀虫剂分子结构不同,其水溶性更高,内吸性和渗透性也更好,可用于多种害虫的防治^[3],不仅可防治谷物(小麦、玉米、水稻等)、蔬菜(番茄、黄瓜、大白菜等)、水果(苹果、梨、柑橘等)、茶树、观赏菊花等作物上的蚜虫、叶蝉、飞虱、蓟马、粉虱、二化螟及其抗性品系,同时对鞘翅目、双翅目、鳞翅目和同翅目害虫防效高,并对蜚蠊、白蚁、家蝇等卫生害虫也表现出良好的防治效果^[4]。咪虫胺在我国应用广泛,登记作物24种,登记产品194个,是新烟碱类杀虫剂的中坚力量^[5]。

然而,随着使用量的日益增加,咪虫胺同样避免不了传统新烟碱类杀虫剂的弊端。传统新烟碱类杀虫剂对蜜蜂的种群危害十分严重,不仅长期残留在蜜蜂脑内,影响其学习能力和采集活动,还会降低蜜蜂的生存能力,缩短其寿命^[6]。英国赫特福德大学农药属性数据库(PPDB)显示,咪虫胺对于非靶标有益生物蜜蜂和蚯蚓都具有高毒,对蜜蜂的48 h接触毒性LD₅₀值大于0.023 μg/bee,对蚯蚓的14 d急性毒性LC₅₀值为4.9 mg/kg。研究表明,咪虫胺还会影响小鼠体内氨基酸的代谢,接触咪虫胺的ICR小鼠体内脂质水平升高,出现氧化应激反应^[7]。咪虫胺对哺乳动物大鼠短期摄食无可见作用,剂量水平值为22 mg/kg,为高风险;中高浓度(612.5和2 450.0 mg/kg)的咪虫胺将会引起大鼠免疫损伤和免疫细胞凋亡,导致大鼠脾脏白髓及胸腺皮质萎缩^[8],而使用98%的咪虫胺原药以200 mg/(kg·d)的浓度续饲喂8周,也将影响大鼠的繁殖能力^[9]。此外,新烟碱类杀虫剂在水中不易降解、残留期长,对水生生物也具有较高水平的危害^[10]。咪虫胺在土壤中具有持久性,半衰期高达75~82 d^[11]。随着咪虫胺使用量的增加,其在环境中的残留风险也随之增大,从而导致其在土壤、植株和地下水中的残留量升高^[12]。同时,农药残留专家联席会议(JMPR)指出,植物源产品中用于制定咪虫胺的最大残留限量(MRL)仅需要考虑咪虫胺母体农药,而膳食暴露风险评估则需要考虑咪虫胺及其代谢物1-甲基-3-(四氢-3-咪喃基甲基)胍(UF)和1-甲基-3-(四氢-3-咪喃基甲基)胍二氢(DN),以咪虫胺表示,动物源产品中用于制定咪虫胺的MRL和膳食暴露风险评估均需要考虑咪虫胺及其代谢物

UF,以咪虫胺表示^[13]。可见,咪虫胺虽然具有优异的杀虫活性,但随其在农业生产环境中的大量投入,环境负效应也开始显露,这也引起诸多研究学者的重视。

因此,笔者综述了咪虫胺对靶标害虫的生物活性、对非靶标有益生物的生态毒理以及其在植物和土壤等生态介质中的降解动力学规律,旨在为咪虫胺的合理应用和有效管理提供科学依据,也对新烟碱类农药的安全评估、增效减施等科学问题提供理论支撑。

1 咪虫胺生物活性研究

对靶标害虫的防治效果是评价咪虫胺的首要标准。研究表明,10%咪虫胺干拌种剂(DS)^[14]、20%咪虫胺可溶性粒剂(SG)^[15-16]、20%咪虫胺悬浮剂(SC)^[17]以及25%咪虫胺可湿性粉剂(WP)^[18]等多种剂型均可有效防治稻飞虱对稻田的危害。不同浓度的咪虫胺(14.72和62.95 mg/L)作用于褐飞虱均会对其成虫的发育和生殖能力产生影响,但对F₁代无影响,说明该浓度下咪虫胺具有亚致死效应,但对褐飞虱没有跨代影响^[19]。咪虫胺除了对稻飞虱有良好的防效外,对小麦、果蔬、烟草等多种作物上的靶标害虫也具有较好的防治效果。通过咪虫胺对小麦蚜虫的不同亚致死剂量(L₁₀、L₂₀和L₃₀)的研究发现,咪虫胺可显著降低小麦蚜虫F₀代的寿命和繁殖力、缩短雌虫产卵前期。亚致死剂量L₁₀、L₂₀和L₃₀剂量能显著提高若虫的发育历期,其中L₂₀亚致死剂量可明显降低其净生殖率、固有增长率和周限增长率,但会提高F₁代的繁殖力、延长雌虫产卵前期^[20]。董松^[21]通过对绿盲蝽施用3种不同浓度(LC₅₀、LC₃₀、LC₁₀)的咪虫胺,发现LC₃₀剂量的咪虫胺对绿盲蝽的生殖抑制作用最明显,可有效控制绿盲蝽种群数量的增长。咪虫胺对烟粉虱也具有较好的杀虫活性,对烟粉虱的各个虫龄均有效,对卵和若虫的杀灭活性更高,因此适合在烟粉虱发生初期使用,有利于控制烟粉虱的种群数量、减少药剂使用量^[22],同时该研究还发现,具有吡虫啉抗性的烟粉虱对咪虫胺无交叉抗性或抗性水平较低^[23]。咪虫胺对烟粉虱的致死和亚致死研究表明,咪虫胺增加了烟粉虱若虫、假蛹和成虫的发育时间,降低了其存活率,雌性烟粉虱的生殖力也明显降低。其对烟粉虱F₁代的存活率、发育历期和繁殖力也均有影响,这说明咪虫胺可以有效地

控制烟粉虱的增长^[24]。呋虫胺对难以防治的入侵生物红火蚁也具有较好的防治效果,使用5 mg/L呋虫胺处理13 h后,红火蚁中型工蚁的校正死亡率可达到97.78%^[25]。

通过上述研究总结发现,呋虫胺对于稻飞虱、小麦蚜虫、二化螟、烟粉虱等害虫均具有较好的防治效果。呋虫胺对稻飞虱的 LC_{50} 和 LC_{90} 值分别为0.88 mg/L和3.90 mg/L;对二化螟的 LC_{50} 和 LC_{90} 值分别为55.72 mg/L和882.30 mg/L^[26];对烟粉虱卵、若虫和成虫的 LC_{50} 值分别为10.55、24.68、75.91 mg/L^[22]。此外,呋虫胺的半致死浓度对害虫的生长发育和繁殖能力也具有一定影响,但对F₁代的影响较小。

2 呋虫胺生态毒理研究

呋虫胺对蜜蜂、蚯蚓、家蚕、斑马鱼、蜥蜴等非靶标生物负面影响较大^[27],因此综述呋虫胺的生态毒理学研究也十分必要。蜜蜂是自然界必不可少的授粉主力,在农业生产中占据重要地位,研究表明呋虫胺对蜜蜂的急性经口毒性等级为高毒^[28-29],其 LD_{50} 值为0.156 μ g/bee,对蜜蜂幼虫化蛹和羽化抑制作用明显^[30],并且呋虫胺对工蜂和雄性蜂的毒力不同,在不同类型蜂中的累计致死作用也不同^[31]。呋虫胺的大量使用会影响蜜蜂的嗅觉,导致其觅食效率低下,识别巢友的能力降低^[32],其亚致死剂量还会影响蜜蜂学习能力和记忆力^[33]。可见,呋虫胺对蜜蜂的暴露风险不容忽视,降低其对蜜蜂的危害至关重要。其次,呋虫胺及其代谢物UF和DN对蚯蚓也是高危污染物,3种物质均会诱导蚯蚓体内的活性氧(ROS)过量生成,导致其抗氧化酶活性和功能基因表达发生显著变化,严重破坏细胞结构和功能^[34-35]。呋虫胺对家蚕毒性高且残毒期长,96 h急性毒性 LC_{50} 值为1.26 mg/L,因此在蚕桑地区使用呋虫胺一定要加强防护,降低污染风险^[28,36]。

呋虫胺对水生生物和两栖类动物也具有一定的危害。已有研究表明,呋虫胺原药对大型蚤、低额蚤、剑水蚤的24 h和48 h急性毒性 LC_{50} 值为0.08~4.89 mg/L,均具有较高毒性,其中剑水蚤对呋虫胺的毒害最为敏感。呋虫胺对3种蚤类的48 h毒性高于24 h,说明存在毒性累积效应^[37]。呋虫胺对于斑马鱼胚胎、幼鱼以及成鱼都具有不同程度的危害。呋虫胺原药对斑马鱼胚胎96 h急性毒性 LC_{50} 值为10.36 g/L,属于微毒,20%呋虫胺悬浮剂对斑马鱼幼鱼的96 h急性

毒性 LC_{50} 值为59.7 mg/L,属于低毒。较高浓度的呋虫胺会降低斑马鱼的孵化率,影响其生长发育^[27,38]。对鮠鲫幼鱼施用呋虫胺发现,其会诱发氧化应激反应,改变mRNA的表达水平,并且会导致幼鱼肝脏DNA损伤^[39]。呋虫胺对蜥蜴也具有一定的危害,呋虫胺在蜥蜴体内不易代谢,在大脑中表现出较强的持久性,易造成大脑损伤^[40]。呋虫胺还会影响蜥蜴甲状腺对碘的摄入和利用,导致甲状腺功能不足,进而导致甲状腺上皮增生和滤泡体积增大^[41]。通过蜥蜴口服呋虫胺还发现肝脏和肾脏是其主要的代谢器官,呋虫胺也会对肝脏的氧化应激系统造成损害,而皮肤和尿液排泄是蜥蜴消除呋虫胺的主要途径^[42]。

通过上述研究总结可得,呋虫胺对nAChRs的激动刺激在杀灭靶标害虫的同时,对非靶标有益生物也带来负面影响,特别是蜜蜂、蚯蚓、家蚕,其毒性量级均为高毒,严重危害其种群存活。因此,如何确保呋虫胺在发挥杀虫效力的同时,有效降低其生态毒性,减少对非靶标有益生物的潜在威胁是目前面临的科学难题,也是本领域未来研究的重点方向。

3 呋虫胺的降解动力学研究

目前,呋虫胺在生态环境中的行为归趋主要集中在植物体和土壤介质中的耗散动力学研究^[43]。呋虫胺具有良好的水溶性、较高的持久性以及较低的吸附性,施用于作物时易导致土壤和地下水污染,呋虫胺在植物和哺乳动物体内还会转化为多种残留代谢物^[44]。呋虫胺的广泛使用不仅会导致农药残留在植株、土壤、水体中,还会残留在食用饲料中,进而在动物体内累积。因此建立动植物源食品以及生态环境介质中绿色、灵敏、快速的呋虫胺及其代谢物残留分析方法必不可少^[45]。已有研究测定了呋虫胺及其代谢物在水稻中的降解规律,其降解符合一级动力学模型,呋虫胺及其代谢物的半衰期在0.5~2.3 d之间,在施用呋虫胺21 d后测定的糙米中的呋虫胺残留量为0.413 mg/kg^[46],低于我国规定的最大残留限量1 mg/kg,经过抛光、洗涤和煮沸,呋虫胺的平均残留量分别低于原始浓度的74.7%、60.8%和39.6%,这说明煮沸可以有效降低呋虫胺的残留量^[47]。呋虫胺及其代谢物在咖啡豆中的残留动态分析结果表明,呋虫胺及其代谢物UF、DN在咖啡豆上的平均半衰期为40.8 d。洗涤后,咖啡豆中呋虫胺的含量降低了44.4%~86.7%,烘焙过程中呋虫胺的含量降

低了62.2%~100%。焙烤咖啡豆的前21和35 d均未检测到DN残留,煮咖啡前35 d内也未检测到UF残留,表明咖啡豆加工过程中呋虫胺及其代谢物UF、DN的残留量均有所下降^[48]。通过测定土壤和萝卜叶片中呋虫胺的残留量发现,呋虫胺的降解半衰期为6.2~8.9 d,降解较快;在呋虫胺处理的土壤中,萝卜从土壤中对呋虫胺的吸收率为4.9~16.7%;在低浓度处理(2.01 mg/kg)和高浓度处理(9.35 mg/kg)的土壤中萝卜块茎的吸收量分别为0.020~0.057 mg/kg和0.066~0.256 mg/kg;在收获初期,呋虫胺在叶片中的分布大于块茎,但随着时间的增长,呋虫胺在块茎中的分布逐渐增加^[49]。

此外,呋虫胺在设施黄瓜和土壤中的消解动态符合一级动力学模型。在吉林和山东两地检测到黄瓜中呋虫胺的降解半衰期分别为10.7和6.9 d;土壤中呋虫胺降解半衰期分别为18和3.6 d^[50]。连续2年测定山东、湖南、海南三地甘蓝和土壤中呋虫胺的残留量发现,呋虫胺在甘蓝和土壤中的消解动态也符合一级反应动力学方程。2013年在山东、湖南、海南三地测定甘蓝中呋虫胺的降解半衰期分别为19.8、21.7、20.4 d,土壤中呋虫胺的降解半衰期分别为9.9、27.7、8.8 d;而2014年在上述地点甘蓝中呋虫胺的降解半衰期分别为21.0、26.7、22.4 d,土壤中的降解半衰期分别为8.3、17.8、7.5 d。可见,三地甘蓝中呋虫胺的半衰期较为一致,而土壤中的降解半衰期差异明显,其中山东和海南土壤中呋虫胺的降解速率较快,而湖南的降解速率较慢,半衰期是上述两地的2~3倍^[51]。在青海、甘肃、内蒙古和宁夏四地对枸杞和土壤中的呋虫胺进行了残留降解分析,结果表明枸杞中呋虫胺的初始浓度分别为0.124、1.72、0.156和0.296 mg/kg时,半衰期分别为1.45、3.09、2.99和2.48 d,施用后5 d内,枸杞中的呋虫胺残留量迅速下降;在青海、甘肃、内蒙古和宁夏土壤基质中呋虫胺的最初含量分别为0.106、0.049、0.388和0.142 mg/kg,试验结束时分别降至0.006、小于0.005、0.123和0.007 mg/kg,其中内蒙古地区的残留量高于其他地区,呋虫胺在青海、内蒙古和宁夏土壤中的半衰期分别为7.53、17.4和8.03 d,甘肃省在呋虫胺施用的5 d后便低于定量限;枸杞中呋虫胺的最终残留量为小于0.005~0.24 mg/kg,与土壤相比枸杞中呋虫胺的残留量相对较高,其中青海省最高,为0.24 mg/kg;土壤中呋虫胺的最终残留量为小

于0.005~0.078 mg/kg,内蒙古和宁夏两地的残留量较高,分别为0.075和0.078 mg/kg,土壤中未检测到呋虫胺代谢物DN和UF残留^[52]。通过在不同地点检测同种作物和土壤中的呋虫胺残留量发现,呋虫胺的降解速率和残留量不同,这可能与当地土壤的理化性质、土壤微生物以及气候水文条件密切相关。

4 展望

呋虫胺作为新烟碱类杀虫剂的优势品种被广泛应用到农业生产环境中,使用的同时也带来一定的环境负效应,尤其对非靶标有益生物蜜蜂、蚯蚓等高毒问题成为当前研究热点。呋虫胺是首个手性新烟碱类杀虫剂品种,其手性化合物虽然具有相同的理化属性,但往往具有不同的选择性差异,包括活性、毒性、降解、代谢等。目前已有研究表明,呋虫胺的生物活性和生态毒性均具有对映体选择性:对于棉蚜、绿盲蝽、家蝇和美洲大蠊等靶标生物,S-呋虫胺的生物活性更强,是R-呋虫胺的2.7~7.3倍;对于蜜蜂、蚯蚓等非靶标有益生物危害较大的为S-呋虫胺,其急性毒性是R-呋虫胺的41.4~128.4倍^[53-55]。同样,呋虫胺的对映体选择性也表现在植物体和土壤中,研究表明土壤中S-呋虫胺的降解半衰期长于R-呋虫胺,表现为R-呋虫胺优先降解,导致S-呋虫胺相对富集^[56]。目前,已有研究初步指出使用呋虫胺R对映体可以在维持杀虫效力的条件下减小对蜜蜂的致死率^[55],这为解决呋虫胺的毒性高和环境负效应等科学难题提供了新思路,但还需要后续更全面、深入的研究。通过本文综述以期对呋虫胺科学合理使用和高效低风险手性单体农药的研发提供理论依据和科学参考。

参考文献

- [1] QUESTEL J Y L, GRATON J, CERON-CARRASCO J, et al. New insights on the molecular features and electro-physiological properties of dinotefuran, imidacloprid and acetamiprid neonicotinoid insecticides[J]. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 2011, 19(24): 7623-7634.
- [2] 何佳春,李波,余婷,等.呋虫胺等药剂对二化螟防治效果的评价[C]//植保科技创新与农业精准扶贫:中国植物保护学会2016年学术年会论文集.成都:中国农业科学技术出版社,2016: 146-151.
- [3] 徐磊.烟碱类杀虫剂呋虫胺的逆袭之路[J].*市场纵横*, 2020, 24(2): 36-37.

- [4] 农业农村部农药检定所.中国农药信息网[EB/OL]. (2020-07-19) [2020-09-15]. <http://www.chinapesticide.org.cn/>.
- [5] 王献伟. 呋虫胺: 稻飞虱防治市场的后起之秀[J]. 市场纵横, 2017, 8: 33.
- [6] 史晶亮, 杨乐, 廖春华, 等. 新烟碱类杀虫剂对蜜蜂毒理作用的研究进展[J]. 农药, 2019, 58(1): 6-10.
- [7] YAN S, MENG Z Y, TIAN S N, et al. Neonicotinoid insecticides exposure cause amino acid metabolism disorders, lipid accumulation and oxidative stress in ICR mice[J]. Chemosphere, 2020(246): 125661.
- [8] 徐玉艳, 刘延庆, 曾奇兵. 呋虫胺对SD大鼠的免疫毒性[J]. 湘南学院学报(医学版), 2016, 18(1): 4-6.
- [9] 卢昊, 付少华. 98%呋虫胺原药对大鼠两代繁殖毒性研究[J]. 现代农药, 2019, 18(5): 38-41.
- [10] ANDERSON J C, DUBETZ C, PALACE V P. Neonicotinoids in the Canadian aquatic environment: a literature review on current use products with a focus on fate exposure and biological effects[J]. Science of The Total Environment, 2015(505): 409-422.
- [11] IUPAC. Available information on dinotefuran in pesticides properties data base [EB/OL] (2019-03-12) [2020-07-15]. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1195.htm>.
- [12] JIRIES A G, AL NASIR F M, BEESE F. Pesticide and heavy metals residue in wastewater, soil and plants in wastewater disposal site near Al-Lajoun Valley, Karak/Jordan[J]. Water Air and Soil Pollution, 2002, 133: 97-107.
- [13] JMPR. Joint meeting on pesticide residues in food 2012 [EB/OL] (2019-06-12) [2020-07-15]. <http://www.fao.org/docrep/017/i3111e/i3111e>.
- [14] 零春华, 吴家胜, 郭小艳. 10%呋虫胺干拌种剂防治水稻稻飞虱田间药效试验[J]. 广西植保, 2019, 32(4): 17-19.
- [15] 徐乐乐. 20%呋虫胺可溶粒剂防治水稻稻飞虱田间药效试验[J]. 农家参谋, 2019, 3: 107.
- [16] PREETINDER S S, HARPAL S R. Efficacy of dinotefuran 20% sg against major planthoppers of rice[J]. Indian Journal of Entomology, 2019, 81(2): 312-316.
- [17] 李燕芳, 肖汉祥, 张扬. 20%呋虫胺悬浮剂防治稻飞虱田间试验[J]. 湖北植保, 2017, 3: 9-11.
- [18] 王志东, 石磊, 蒋涛. 呋虫胺、噻虫嗪等药剂对稻飞虱的田间药效试验[J]. 上海农业科技, 2015, 6: 133-134.
- [19] LU Z B, DONG S, LI C, et al. Sublethal and transgenerational effects of dinotefuran on biological parameters and behavioural traits of the mirid bug *Apolysus lucorum*[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 248-252.
- [20] DENG H D, DUAN W B, WANG H, et al. Assessment of the effects of lethal and sublethal exposure to dinotefuran on the wheat aphid *Rhopalosiphum padi* L[J]. Ecotoxicology, 2019, 28(7): 825-833.
- [21] 董松. 呋虫胺和氟啶虫胺腈对绿盲蝽的亚致死效应[D]. 山东农业大学, 2018.
- [22] 孟臻, 王菲菲, 张典利, 等. 呋虫胺对不同虫态烟粉虱的室内毒力测定[J]. 生物灾害科学, 2018, 41(2): 131-133.
- [23] AKIRA H, GREGORY D W, ALEXANDRE N, et al. Differential metabolism of imidacloprid and dinotefuran by *Bemisia tabaci* CYP6CM1 variants[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2019, 159: 27-33.
- [24] Qu C, Zhang W, Li F Q, et al. Lethal and sublethal effects of dinotefuran on two invasive whiteflies, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2017, 20(2): 325-330.
- [25] 卢彦蓉, 周艺凡, 张志祥. 呋虫胺对红火蚁工蚁的毒杀活性及行为影响[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(1): 199-201.
- [26] 倪珏萍, 马亚芳, 施娟娟, 等. 杀虫剂呋虫胺的杀虫活性和应用技术研发[J]. 世界农药, 2015, 37(1): 41-44.
- [27] 吴若函, 丁悦, 严海娟, 等. 新烟碱类杀虫剂对几种环境生物的安全性评价[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 295-297.
- [28] 柳新菊, 吴声敢, 安雪花, 等. 呋虫胺对环境生物的急性毒性与安全性评价[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(6): 1130-1133.
- [29] 季守民, 程传英, 袁传卫, 等. 7种新烟碱类杀虫剂对意大利蜜蜂的急性毒性及风险评价[J]. 农药, 2015, 54(4): 282-285.
- [30] 谭丽超, 程燕, 朱昱璇, 等. 新烟碱类杀虫剂呋虫胺对意大利蜜蜂的安全性评价[J]. 生态毒理学报, 2017, 12(4): 227-233.
- [31] 刘佳霖, 伍翔, 廖秀丽, 等. 4种杀虫剂对小峰熊蜂工蜂和雄性蜂的急性经口毒性测定[J]. 农药, 2012, 51(6): 436-438; 444.
- [32] JULIE A M, ANNE G, JENNIFER S, et al. Honeybees fail to discriminate floral scents in a complex learning task after consuming a neonicotinoid pesticide[J]. Journal of Experimental Biology, 2020, 223(5): 217174.
- [33] LIU S H, LIU Y M, HE F M, et al. Enantioselective olfactory effects of the neonicotinoid dinotefuran on honey bees (*Apis mellifera* L)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 10: 1-37.
- [34] LIU T, WANG X G, XU J L, et al. Biochemical and genetic toxicity of dinotefuran on earthworms (*Eisenia fetida*) [J]. Chemosphere, 2017, 176: 156-164; 169.
- [35] LIU T, ZHANG X L, WANG X G, et al. Comparative toxicity and bioaccumulation of two dinotefuran metabolites, UF and DN, in earthworms (*Eisenia fetida*) [J]. Environmental Pollution, 2018, 234: 988-996.
- [36] 陈伟国, 孙海燕, 杨一平, 等. 第三代烟碱类杀虫剂呋虫胺对家蚕的毒性与安全性评价[J]. 广西蚕业, 2015, 52(1): 19-22.
- [37] 张文萍, 王全胜, 徐吉洋, 等. 呋虫胺原药及两种剂型对三种甲壳

- 纲生物的[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(3): 1478-1485.
- [38] 孙琦, 范咏梅, 赖柯华, 等. 呋虫胺对斑马鱼胚胎-幼鱼生长发育及细胞凋亡的影响[J]. 生态毒理学, 2016, 11(3): 356-364.
- [39] TIAN X, HONG X S, YAN S H, et al. Neonicotinoids caused oxidative stress and DNA damage in juvenile Chinese rare minnows (*Gobiocypris rarus*)[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 197: 110566.
- [40] WANG Y H, ZHANG Y, LI W, et al. Study on neurotoxicity of dinotefuran, thiamethoxam and imidacloprid against Chinese lizards (*Eremias argus*)[J]. Chemosphere, 2019, 217: 150-157.
- [41] WANG Y H, XU P, CHANG J, et al. Unraveling the toxic effects of neonicotinoid insecticides on the thyroid endocrine system of lizards[J]. Environmental Pollution, 2020, 258: 113731.
- [42] WANG Y H, HAN Y T, XIE Y, et al. The metabolism distribution and effect of dinotefuran in Chinese lizards (*Eremias argus*)[J]. Chemosphere, 2018, 211: 591-599.
- [43] 韩永玲. 农药残留快速检测技术[J]. 蔬菜, 2016, 8: 67-69.
- [44] FORD K A, CASIDA J E. Comparative metabolism and pharmacokinetics of seven neonicotinoid insecticides in spinach[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(21): 10168-10175.
- [45] ZHANG Y, WU X H, DUAN T T, et al. Ultra high performance liquid chromatography with tandem mass spectrometry method for determining dinotefuran and its main metabolites in samples of plants, animal-derived foods, soil, and water[J]. Journal of Separation Science, 2018, 41(14): 2913-2923.
- [46] LI R J, LIU T J, CUI S H, et al. Residue behaviors and dietary risk assessment of dinotefuran and its metabolites in *Oryza sativa* by a new HPLC-MS/MS method[J]. Food Chemistry, 2017, 235: 188-193.
- [47] MINAE W, JUN U, EIJI U, et al. Effects of processing and cooking on the reduction of dinotefuran concentration in Japanese rice samples[J]. Food Additives and Contaminants: Part A, 2018, 35(7): 1316-1323.
- [48] CHEN Z J, SONG S M, MAO L Y, et al. Determinations of dinotefuran and metabolite levels before and after household coffee processing in coffee beans using solid-phase extraction coupled with liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(3): 1267-1274.
- [49] KWAK S Y, HWANG J I, LEE S H, et al. Plant uptake and residual patterns of insecticide dinotefuran by radish[J]. Korean Journal of Pesticide Science, 2017, 21(3): 233-240.
- [50] 张慧, 李迎东, 李忠华, 等. 呋虫胺及其代谢物在大棚黄瓜上残留消解动态[J]. 农药, 2019, 58(7): 508-510.
- [51] 彭敏, 陈武瑛, 陈武荣, 等. 呋虫胺及其代谢物在甘蓝和土壤中的消解规律[J]. 农药, 2018, 57(2): 124-126.
- [52] LI W, SHEN S, CHEN H Y, et al. Dissipation study and dietary risk assessment of dinotefuran DN and UF in wolfberry[J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2019, 8: 1-12.
- [53] MORI K, OKUMOTO T, KAWAHARA N, et al. Interaction of dinotefuran and its analogues with nicotinic acetylcholine receptors of cockroach nerve cords[J]. Pest Manage Science, 2002, 58(2): 190-196.
- [54] KIRIYAMA K, NISHIWAKI H, NAKAGAWA Y, et al. Insecticidal activity and nicotinic acetylcholine receptor binding of dinotefuran and its analogues in the housefly, *Musca domestica*[J]. Pest Manage Science, 2003, 59(10): 1093-1100.
- [55] CHEN Z L, YAO X M, DONG F S, et al. Ecological toxicity reduction of dinotefuran to honeybee: New perspective from an enantiomeric level[J]. Environment International, 2019, 130: 104854.
- [56] CHEN X, DONG F S, XU J, et al. Enantioselective degradation of chiral insecticide dinotefuran in greenhouse cucumber and soil[J]. Chirality, 2015, 27(2): 137-141.

(责任编辑:高蕾)

2021年瓜类检疫性病害防控方案

黄瓜绿斑驳花叶病毒病、瓜类果斑病是2种典型的种传检疫性病害。近年来,这2种病害随西甜瓜种子的调运相继传入我省。虽经大力防控阻截,有效遏制了其扩散势头,但每年仍有零星疫点发生。由于江苏省所需的西甜瓜种子绝大部分都由外省调入,2种检疫性病害随西甜瓜种子(苗)调运再次传入的风险依然很大。为切实做好2021年瓜类检疫性病害监测与防控工作,阻截其扩散与危害,特制定本方案。

防控目标。强化落实源头检疫监管、全面监测调查、综合预防控制等措施,推行种子处理、嫁接消毒、喷药预防、轮作换茬等技术,确保新发疫点早发现、早报告、早处置,疫情处置率100%,不恶性扩散。

防控措施。(1)加强源头检疫管控 (2)全面监测与重点调查 (3)落实综合防控技术。

加强宣传培训和指导。各地要通过多种渠道广泛宣传2种瓜类检疫性病害的严重危害性,重点宣传因病害造成严重经济损失的典型事例,开展多层次、多形式的技术培训,增强基层农技人员、瓜类种苗生产销售大户及种植大户生产的防范意识;引导辖区内西甜瓜生产基地、种苗供应企业和种植大户等通过正规渠道购买检疫合格的种子(苗)。在育苗、种植关键时期要组织技术人员深入田间地头进行检疫巡查和技术指导,定期关注病害发生动态,一旦查见,应及时指导生产者采取封控措施,争取将损失降至最低。

(来源:江苏植保网)