

含氟农药的应用与管控

张晓桐¹ 柳轶群²

1. 黑龙江农业职业技术学院 黑龙江 佳木斯 154005

2. 江苏海企技术工程股份有限公司 江苏 南京 210019

摘要: 氟化合物凭借其独特的化学性质已成为现代农药的重要组成部分,主要以农药的活性成分发挥功效或以助剂形式改善农药性能,并被广泛施用于粮食和果蔬作物的各类病虫害防治。本文系统阐述了含氟农药的特性以及各类药剂在粮食、果蔬等农作物中的应用,结合国内外典型农业区域的含氟农药应用实践,总结含氟农药的区域管控措施,为社会和相关行业对含氟农药的科学应用提供参考。

关键词: 含氟农药; PFAS; 作物应用; 区域管控

1 引言

随着人口增长和粮食需求的提高,防治农作物病虫害的压力日益增加,为保障农作物的稳产高产,使用高效稳定的农作物防治产品已刻不容缓^[1]。氟化工在农业领域占据核心位置,其产品贡献了行业总需求的一半以上。我国是世界上重要的农药生产和使用大国,研制并投入使用的农作物药剂约有半数包含氟元素,氟化农药市场规模庞大且已经形成了完整的产业链^[2]。

含氟农药可以大幅度提升药剂的防效、持效期以及适应性,广泛应用于各种农用环境中^[3]。大量使用含有氟化合物产品会使得氟化合物长期暴露于环境中,造成一定程度的污染。全氟和多氟烷基物质(PFAS)具有较强的环境持久性、生物累积性和迁移性,在土质及水体中很难降解,长期累积会给生态环境和人体健康带来危害^[4]。本文聚焦国内外典型农业区域的相关举措,包括含氟农药的施用技术、具体作物的应用场景和管控方案的严格落实,通过实际案例证明全球各地的农药行业必须高效绿色施用含氟农药,才能保持生态环境的可持续发展^[5]。

2 含氟农药的功效

氟原子具有高电负性、小范德华半径以及大偶极矩的特点,其作为含氟化合物的核心能够大幅提升农药的活性和选择性。引入含氟化合物后的农药,不仅增强对靶标生物的药效,还能降低对非靶标生物的毒性,并且药剂的使用量也可得到减少^[6]。部分PFAS物质以表面活性剂、分散剂或乳化剂等助剂的形式存在于农药中,通过改善药剂在作物表面的润湿渗透能力和附着力,提升农药在作物表面的吸收率,从而间接提高药效^[7]。

另外,氟化合物也可被应用于作物土壤的改良。例如,氟硅酸铵通过改变土壤的团聚体结构以增强土壤通气性和排水性,从而让作物的根系可以更好地吸收养

分;氟硼酸钾有利于作物细胞壁的生成,增强其光合作用,改善植物果实品质^[8];氟化钠能够调节土壤的酸碱度,对碱性和盐渍化土壤有很好的改良效果,为作物的根系发育提供安全稳定的土壤环境^[9]。

3 含氟农药的应用

3.1 除草剂

氟氯吡啶酯作为麦田特效阔叶除草剂,与安全剂复配后药害风险极低,在土壤中可快速降解,无残留危害。该特效除草剂对播娘蒿、芥菜等阔叶杂草防效达85%以上,有效解决了麦田阔叶杂草抗性^[10]。常用的选择性除草剂如氟乐灵能够有效地去除大豆和花生等旱地作物田间的马唐、牛筋草等一年生禾本科杂草及反枝苋等阔叶杂草,且不会干扰大豆幼苗的正常生长,黑龙江已有大豆产区将氟乐灵用于大豆杂草的防除^[11]。

新型广谱除草剂氟咯草酮在青海高原马铃薯田的应用表现突出,马铃薯增产可观且马铃薯块茎的品质不受除草剂的影响,淀粉等各类营养元素的指标均符合优质标准^[12]。新型高效除草剂如三唑磺草酮、氟砜草胺对稻田稗草等禾本科杂草具有显著的去效果,药物持效期长且对后茬作物安全,已成为水稻田杂草防治的主导产品。

3.2 除虫剂

氟虫腈作为一种常用的除虫剂,对湖南水稻产区的稻螟虫、褐飞虱、稻象甲等害虫的防治效果非常明显;氟苯虫酰胺对于棉铃虫、红铃虫等钻蛀性害虫防治效果优异,有利于提高棉花的质量,在新疆、山东等主要棉花生产区均有使用^[13]。氟啶虫酰胺适用于黄瓜、苹果等果蔬作物的虫害防治,其对于蚜虫、粉虱、蓟马等刺吸式口器害虫的药效可保持一周,继而减少了施药频率。山东苹果产区使用该药剂对蚜虫的防效突出,且果实品质无不良影响;作

为高效熏蒸剂的硫酰氟部分西瓜种植设施中得到了应用,其对西瓜根结线虫的防治效果优异,可使西瓜根结指数降低60%以上并延长采收期15-20天。

3.3 杀菌剂

杀菌剂氟吡菌酰胺可以为黄瓜、番茄、辣椒等作物提供持久性药效,主要用于治理作物的白粉病、灰霉病、菌核病和早疫病等病菌;还可以作为杀线虫剂,用以防治多种蔬菜、粮食和水果的根结线虫、根腐线虫危害。山东某蔬菜主产区大面积施用氟吡菌酰胺用以清除番茄根结线虫,其清除效果高达76%,并且单果增重10-15%,畸形果率减少8%,果实品质明显提高,明显优于对照阿维菌素和噻唑膦等药物的防效。氟醚菌酰胺作为国内自主创新开发的一种新型杀菌剂,对于黄瓜霜霉病、番茄疫病、辣椒疫病等卵菌纲病原菌引起的作物病害防效明显。

4 含氟农药的管控

目前,使用PFAS类物质作为助剂的农药已在大多数农业区域中得到应用。欧洲农药行动网络调查发现,水果蔬菜中的PFAS含量在过去10年间增加了2倍以上,且欧盟批准的农药中有八分之一的农药活性成分属于PFAS,且三十多种带有PFAS类活性物质的农药被故意喷洒在农田中,使用量正在逐渐增加。为应对农药中PFAS带来的环境与健康风险,国内外重点地区已建立区域性管控体系。

4.1 国内区域

中国长三角地区的地表水、水源水和自来水中均检出多种PFAS,其中三氟乙酸在总污染负荷中占据了主导,该区域的PFAS污染主要与工农业活动相关。由于水稻产区广泛使用含PFAS的杀虫剂与除草剂,使得稻田土壤中检测出大量PFAS类农药的残留。农田灌溉退水中PFAS检出率较高,检测出的PFAS主要为短链组分,其通过地表径流汇入周边水体,导致部分河段PFAS浓度超过了饮用水卫生标准,而且短链PFAS迁移能力强,在根茎类作物中生物累积效应更为显著,其累积含量高于叶菜类作物。

鉴于严峻的PFAS污染形势,长三角地区建立和完善了以源头禁用、生物药剂替代、降解技术、全域监测为主轴的全流程防控体系,包括禁止在水源保护地5公里范围内的产地灌溉等农业生产地使用高风险的含PFAS农药;积极推广含氟农药与生物农药的轮替使用,从而减少农作物中PFAS总量;试点利用光催化降解技术将农田灌溉退水中的PFAS物质分解成无害物;建立跨区域的PFAS环境监测网,并将超短链PFAS纳入重点监控指标,

加强对污染的溯源和预警能力。

4.2 国际区域

在美国加州,含氟农药广泛应用于苹果、玉米、草莓、小麦等作物,而PFAS类化合物的暴露主要源于农药助剂和包装迁移。加州环境健康危害评估办公室(OEHHA)对部分市售农药进行了取样检查,结果显示约七成样品检出PFAS^[14]。加州有关监测机构的研究数据表明,全州范围内的地表水和地下水中PFAS检出率分别为92%和85%,部分饮用水源中PFHxS浓度达到0.005 μg/L,超出高于OEHHHA提出的公共健康目标值0.002 μg/L。

美国加州在限定标准、制定法规、技术革新、在线监管四位一体的框架下持续巩固PFAS管控防线。主要措施包括OEHHHA在2022年宣布将饮用水中PFHxS的公共目标健康值降低到0.002 μg/L;2025年通过的SB 682法案规定了自2033年起禁售故意添加PFAS的产品,从而间接加速农药助剂中的PFAS被替代;加州环保署联合高校加快研发紫外光诱导的PFAS降解剂来处理含PFAS的农业灌溉用水;建立在线申报平台,要求企业公开农药中的PFAS成分信息,保护消费者的知情权和选择权,保证药剂来源透明。

5 结论

氟元素独特的性质决定了氟化合物成为农药的重要组成部分,含氟农药对于粮食、蔬菜和水果等农作物的病虫害防治效果卓越,在高效保障农作物的品质的同时提高农作物的产量。但是,含PFAS助剂的农药被大量使用与暴露会对生态环境和人体健康构成威胁。中国长三角、美国加州的地区对于含PFAS农药的标准制定、源头防控、技术治污以及强化监管的案例表明,未来国内外社会对于含氟农药的使用,需将风险评估、限量标准、替代技术与全程监管嵌入农业产业链,在发挥含氟农药防治优势的同时,把潜在生态风险控制可在可接受范围内,从而达到农业生产与生态保护协同发展的目标。

参考文献

- [1] 吴贝贝,李秀壮,朱一剑,等.含氟化合物在农药领域的应用研究进展[J].山东化工,2025,54(09):101-103. DOI:10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2025.09.025.
- [2] 潘军,吴天赐,李建国,等.含氟农药发展概述[J].应用技术学报,2020,20(02):140-146.
- [3] M A D A, P A M, R M C A, et al. Atlas of the microbial degradation of fluorinated pesticides[J]. Critical reviews in biotechnology, 2021,42(7): 11-19. DOI:10.1080/07388551.2021.1977234.
- [4] 黄文玲.物化-生化技术处理含氟废水的工程实践

[J].环境科技,2008,21(06):34-36.

[5] 杨吉春,吴峤,刘允萍,等.含氟农药开发的新进展[J].农药,2011,50(04):289-295. DOI: 10.16820/j.cnki.1006-0413.2011.04.020.

[6] 陈洽.地表水中含氟农药及转化产物识别策略构建与风险评估[D].广东工业大学,2025.DOI: 10.27029/d.cnki.ggdgu.2025.003581.

[7] 蔡银霞.吡虫啉含氟衍生物的合成及其生态风险评估研究[D].上海应用技术大学,2024.DOI: 10.27801/d.cnki.gshyy.2024.000054.

[8] Liu Y, Sun F, Jia B, et al. Novel (2,6-difluorobenzoyl) urea-activated fluorescent probe for fluorine-containing-pesticide detection[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering,2024,12(3):112786-. DOI: 10.1016/J.JECE.2024.112786.

[9] 黄海金,周裔程.含氟化合物在农药应用方面的研究进展[J].江西化工,2015,(06):44-49. DOI: 10.14127/j.cnki.jiangxihuagong.2015.06.011.

[10] Wu Y, Wang Y, He M, et al. Progress of Trifluoro acetoacetate in the Synthesis of Agrochemicals and Medicines with Fluorine[J]. Mini-Reviews in Organic Chemistry,2017,14(5):350-356. DOI: 10.2174/1570193X14666170511122820.

[11] Li Y, Zhang H, Zhang Z, et al. Treatment and resource recovery from inorganic fluoride-containing waste produced by the pesticide industry[J]. Journal of Environmental Sciences,2015,3121-29. DOI: 10.1016/j.jes.2014.10.016.

[12] 陈紫璇,邓雅焯,周磊,等.全氟烷基和多氟烷基污染物研究进展[J].塑料包装,2025,35(05):42-44.

[13] 郝晓地,鄢丽,朱洋墨. PFAS在污水处理过程中的演变与归宿[J].中国给水排水,2025,41(10):1-10. DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.10.001.

[14] 俞月滢.PFAS新政策对有机氟产业的影响[J].上海染料,2025,53(06):1-4.