

甲氧丙烯酸酯类杀菌剂的环境降解特性研究

许 静, 孔德洋*, 宋宁慧, 孔祥吉, 单正军

(环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042)

摘 要:为了掌握甲氧丙烯酸酯类(Strobilurins)杀菌剂在环境中的行为归趋,评价其在环境中的风险性,采用室内模拟实验法,对嘧菌酯、氟烯菌酯和醚菌酯 3 种 Strobilurins 杀菌剂在不同温度、pH 水体中,不同类型土壤中及氙灯光照环境下的降解特性展开实验。结果表明:在 25 ℃, pH5.0、7.0、9.0 条件下嘧菌酯和氟烯菌酯水解缓慢,醚菌酯则较快,降解半衰期范围为 0.105 d 至 1 a 以上,其水解特性差异与水体 pH 值和农药本身结构相关;50 ℃时 3 种 Strobilurins 杀菌剂水中降解较 25 ℃时水解速率快,其水解速率与温度呈正相关关系;醚菌酯、氟烯菌酯和嘧菌酯在江西红壤、太湖水稻土和东北黑土中,降解半衰期分别为<1.0 d、107~330 d、223~407 d,3 种土壤中降解速率排序为东北黑土>太湖水稻土>江西红壤;人工光源氙灯(光强为 4000 lx,紫外强度 25.0 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)下,醚菌酯、嘧菌酯和氟烯菌酯的光解速率依次为 0.666 4、0.561 1、0.023 5 h^{-1} 。嘧菌酯和氟烯菌酯在水体和土壤中滞留期较长,建议关注其在环境中的污染影响,对其使用和残留状况跟踪监测。

关键词:甲氧丙烯酸酯类;降解;嘧菌酯;氟烯菌酯;醚菌酯

中图分类号:X712 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)10-2005-07 doi:10.11654/jaes.2013.10.015

Degradability of Strobilurin Fungicides in Water and Soils

XU Jing, KONG De-yang*, SONG Ning-hui, KONG Xiang-ji, SHAN Zheng-jun

(Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Nanjing 210042, China)

Abstract: The degradability of strobilurin fungicides in the environment is critical to assessing its environmental risk. A laboratory experiment was performed to examine the influences of temperature, pH and light on the degradation of three strobilurin fungicides (azoxystrobin, kresoxim-methyl, and JS399-19) in water and soils. The results showed that the degradation of azoxystrobin and JS399-19 was relatively slow, while kresoxim-methyl degraded quickly in water at pH5.0, 7.0, and 9.0 under 25 ℃. The half-life times of three strobilurin fungicides ranged from 2.64 hours to more than 1.0 year. The hydrolysis of three strobilurin fungicides was controlled by both water pH and their chemical structures. The hydrolysis rate was greater at 50 ℃ than 25 ℃, showing a positive correlation with temperature. The half-life times of kresoxim-methyl, JS399-19, and azoxystrobin in three different kinds of soil were less than 1.0 day, 107 to 330 days, and 223 to 407 days, respectively. The photolysis rate constants of kresoxim-methyl, azoxystrobin, and JS399-19 were 0.666 4, 0.561 1, and 0.023 5 h^{-1} , respectively. Our results indicate that azoxystrobin and JS399-19 have long retention in water and soil, and more attention should be paid to their residues in the environment.

Keywords: strobilurins; degradation; azoxystrobin; JS399-19; kresoxim-methyl

甲氧基丙烯酸酯类(Strobilurins)杀菌剂具有独特的作用机制、良好的环境相容性,并且能够提高作物的产量和品质,是继苯并咪唑和三唑类之后具有里程碑式意义的一类农用杀菌剂^[1-2]。Strobilurins 杀菌剂

具有非常广泛的杀菌谱,几乎对所有已知真菌有很好的防治效果。其作用机制是通过作用细胞色素(Cytochrome)b 的 Q_0 中心,阻止电子从细胞色素 b 到细胞色素 c1 之间的电子传递,阻碍了 ATP 的合成和能量代谢,从而抑制其线粒体呼吸而发挥抑菌作用^[3]。

目前,几乎全世界的各大农药公司和科研院所都参与了 Strobilurins 杀菌剂的研究^[4]。经过近 20 年的发展,Strobilurins 杀菌剂已在世界杀菌剂市场中占据重要地位。至 2009 年,杀菌剂的全球市场价值为

收稿日期:2013-03-11

基金项目:国家自然科学基金(41101307)

作者简介:许 静(1982—),女,江苏南京人,本科,助理研究员,研究方向为农药环境化学。E-mail:moon9722@163.com

*通信作者:孔德洋 E-mail:kdy@nies.org

111.76 亿美元, 占全球农药市场的 25.6%, 其中 Stro-bilurins 杀菌剂占据了杀菌剂总市场份额的 23.5%, 位居第一位, 完全取代了三唑类杀菌剂成为第一大类杀菌剂品种。迄今为止, 此类杀菌剂申请专利超过 600 件, 合成的化合物超过 3 万个, 商品化和正在开发的品种有 10 多个^[4-5], 其中嘧菌酯和醚菌酯是商品化中最具有代表性的品种。氰烯菌酯是我国自主开发, 具有自主知识产权的农药品种, 为我国重点推广的品种之一, 其代号为 JS399-19^[6]。

随着 Strobilurins 杀菌剂市场份额的逐步扩大, 其对环境的安全性问题不容忽视。目前, 国内外对甲氧丙烯酸酯类杀菌剂研究主要集中在残留分析方面^[7-10], 对其环境行为方面的研究报导较少, 尤其是氰烯菌酯对环境影响方面的文献极少。本文主要是对嘧菌酯等 3 种 Strobilurins 杀菌剂在水体、土壤环境介质中的生物降解、化学降解和光降解特性及影响因素进行研究分析, 为 Strobilurins 杀菌剂的合理使用和环境安全评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 供试农药

选用嘧菌酯、氰烯菌酯和醚菌酯作为试验农药, 其信息见表 1。

1.1.2 供试土壤

江西红壤、太湖水稻土、东北黑土 3 种土壤。风干, 研碎, 过 20 目筛备用。其基本理化性质见表 2。

表 2 供试土壤的基本理化性质

Table 2 Physical-chemical properties of the tested soils

土壤类型	pH (水土比 2.5:1)	有机质/ g·kg ⁻¹	阳离子交换量/ cmol(+)·kg ⁻¹	质地
江西红壤	5.29	9.94	10.6	粘壤土
太湖水稻土	6.23	12.6	17.4	壤土
东北黑土	7.86	17.0	22.9	松沙土

1.1.3 仪器设备

WATERS 2695 液相色谱仪; 2996PDA 检测器 (WATERS, USA); 智能型人工气候箱 (MMM 公司, Ger); MS-PRE 多功能光化学反应实验装置 (环境保护部南京环境科学研究所研制, CN); 恒温振荡器 (E24, USA); R-210 旋转蒸发仪 (BUCHI, SUI); CR 22G II 离心机 (HITACHI, JP); MG-2200 氮吹仪 (EYE-LA, JP)。

1.1.4 试剂

丙酮、乙腈、二氯甲烷等试剂为分析纯级 (南京化学试剂有限公司, CN); 用于 HPLC 分析的乙腈为色谱纯级 (Merck 公司, Ger)。

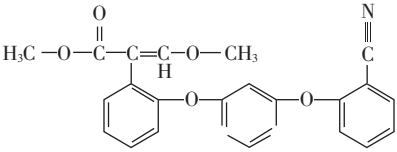
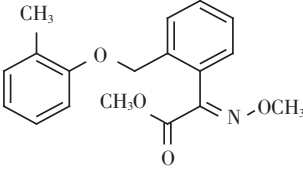
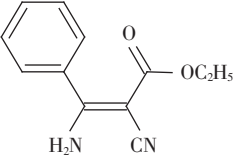
1.2 实验方法

1.2.1 水解试验

分别用 pH 值为 5.0、7.0 和 9.0 的 Clark-Lubs 缓冲溶液, 配制两组农药试验药液系列于 250 mL 具塞试剂瓶中, 超声脱气 5 min 后塞上瓶塞, 分别置于 (25±1)℃ 及 (50±1)℃ 的生化培养箱中培养, 定期从试剂瓶中采集水样, 测定水样中农药含量^[11-13]。上述缓冲溶液

表 1 供试农药信息

Table 1 The informations of the tested pesticides

农药名称	结构式	纯度	来源
嘧菌酯 (Azoxystrobin)		95.0%	利民化工有限责任公司
醚菌酯 (Kresoxim-methyl)		>97.5%	山东京博农化有限公司
氰烯菌酯		95.0%	江苏省农药研究所股份有限公司

与试验容器均经高温高压灭菌,灭菌后的缓冲液需 pH 值校正,并且整个试验过程中需避免光解与氧化作用等影响。

1.2.2 土壤降解

分别称取 20.0 g 3 种土壤样品于三组 150 mL 三角瓶中,每组 10 个,分别均匀滴加一定量甲氧丙烯酸酯类农药标准溶液于土壤中,于通风橱中待溶剂挥发尽后,将土壤充分混匀,调节土壤水分至饱和持水量的 60%,接着用透气硅胶塞将瓶口塞紧,置于人工气候箱(避光)中于(25±1)℃、75%湿度条件下培养,定期取样,测定土壤中农药含量^[14-15]。

1.2.3 光解试验

配制一定浓度的甲氧丙烯酸酯类农药水溶液,于 10 mL 的石英光解反应管中,排气泡后盖紧瓶塞,置于光化学反应装置中进行光解试验。光源为人工光源氙灯,反应温度为(25±2)℃。光照强度 4000 lx(紫外辐射强度 25.0 μW·cm⁻²)。并设置对照组试验溶液于避光条件下培养。试验过程中定期取水样,测定样品的浓度^[16-17]。

1.3 农药残留分析

1.3.1 样品处理

水样:直接取样,过 0.45 μm 滤膜,液相色谱测定。

土样:加入 50 mL 乙腈,置于恒温振荡器 25℃、200 r·min⁻¹ 条件下振荡提取 1.0 h,高速离心分离、过滤后,再用 30 mL 乙腈提取一次,合并提取液,浓缩除去其中有机相,剩余水相用乙酸乙酯 30 mL×2 萃取,旋转蒸发近干后用 N₂ 吹干,并用乙腈定容,过 0.45 μm 微孔滤膜,待液相色谱仪测定。

1.3.2 分析方法

色谱条件:Waters 高效液相色谱仪(2695/2998);色谱柱 4.6×250 mm 5 μm Xterra® RP18 柱;流动相为乙腈:水= 55:45(V/V);流速 0.80 mL·min⁻¹;进样量 10 μL;柱温(25±5)℃。上述条件下,氰烯菌酯的保留时

间为 5.77 min,检测波长为 290 nm;嘧菌酯保留时间为 8.95 min,检测波长为 220 nm;醚菌酯的保留时间为 14.02 min,检测波长为 220 nm。

1.3.3 质量控制

加标回收率:氰烯菌酯在土壤中添加浓度为 0.50~5.00 mg·kg⁻¹ 时,回收测定结果为 83.0%~84.8%,相对标准偏差为 2.23%~3.68%;嘧菌酯在添加浓度为 0.50~5.00 mg·kg⁻¹ 时,土壤回收率测定值为 86.7%~91.0%,相对标准偏差为 0.16%~6.01%;醚菌酯在土壤中添加浓度为 1.00~5.00 mg·kg⁻¹ 浓度范围内,其添加回收率测定值为 84.4%~89.3%,相对标准偏差为 5.11%~8.02%。

2 结果与讨论

2.1 3 种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂在水体中的降解特性

水解是指农药在水中引起的化学分解现象,是农药遭受非生物降解的主要途径。了解农药对水体的污染规律与其在水体中的水解能力,可为评价农药对生态环境安全性提供重要指标。

农药的化学水解速率主要取决于农药本身的化学结构和水体的 pH、温度、离子强度及其他化合物的存在,其中尤以 pH 和温度影响最大^[18]。所以本文选择对嘧菌酯、氰烯菌酯和醚菌酯 3 种 Strobilurins 杀菌剂在不同温度、不同 pH 值条件下进行水解特性研究,结果见表 3。25℃时,pH5.0、7.0、9.0 条件下,其水解半衰期分别为嘧菌酯:>1 a、315 d、128 d;氰烯菌酯:239、169、116 d;醚菌酯:74.5、2.14、0.11 d。50℃时,pH5.0、7.0、9.0 条件下,其水解半衰期分别为嘧菌酯:239、204、4.20 d;氰烯菌酯:217、136、15.2 d;醚菌酯:50.2、1.72、0.02 d。嘧菌酯和氰烯菌酯在水体中降解缓慢,随着 pH 值升高其水解速率有所增大;而醚菌酯在水体中较易降解,降解速率随 pH 值增大明显加快(图 1)。3 种 Strobilurins 杀菌剂在不同酸度条件

表 3 3 种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂在不同条件下的水解特性
Table 3 Hydrolysis of three strobilurin fungicides in different condition

温度/℃	酸度	嘧菌酯		氰烯菌酯		醚菌酯	
		半衰期(<i>t</i> _{1/2})/d	降解速率(<i>k</i>)/d ⁻¹	半衰期(<i>t</i> _{1/2})/d	降解速率(<i>k</i>)/d ⁻¹	半衰期(<i>t</i> _{1/2})/d	降解速率(<i>k</i>)/d ⁻¹
50	pH5.0	239	0.002 9	217	0.003 2	50.2	0.013 8(0.000 6 h ⁻¹)
	pH7.0	204	0.003 4	136	0.005 1	1.72	0.402 6(0.016 8 h ⁻¹)
	pH9.0	4.20	0.165 2	15.2	0.045 6	0.02	35.11(1.463 h ⁻¹)
25	pH5.0	>1 a	0.000 9	239	0.002 9	74.5	0.009 3(0.000 4 h ⁻¹)
	pH7.0	315	0.002 2	169	0.004 1	2.14	0.323 2(0.013 5 h ⁻¹)
	pH9.0	128	0.005 4	116	0.006	0.11	6.557(0.273 2 h ⁻¹)

下, 50 ℃时水中降解速率明显快于 25 ℃的水解率(图2)。

根据以上结果得出, 3 种 Strobilurins 杀菌剂在水体中降解速率快慢顺序为醚菌酯>嘧菌酯≈氰烯菌酯。这主要是由于农药本身化学结构的差异引起。Strobilurins 杀菌剂主要降解途径见图 3, 结构中甲酯的水解是其降解主要途径之一^[19], 由此推测醚菌酯较嘧菌酯和氰烯菌酯农药更易发生水解反应, 可能跟醚菌酯化学结构中具有两个甲酯有关, 这有待将来进一

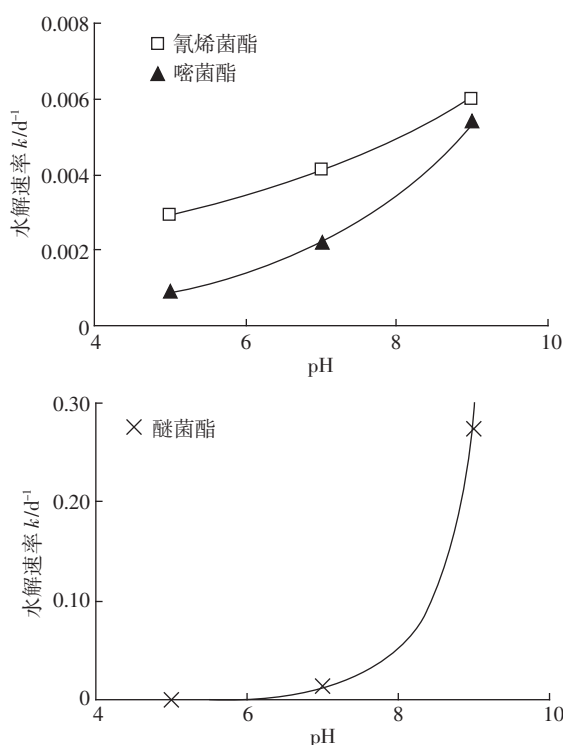


图 1 3 种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂水解速率与 pH 值的关系(25 ℃)

Figure 1 Relationship between pH value and hydrolytic rate of three strobilurin fungicides(25 ℃)

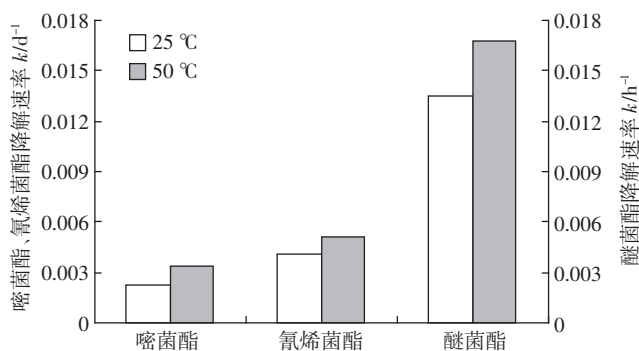


图 2 3 种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂水解速率与温度的关系(pH7.0)

Figure 2 Relationship between temperature and hydrolytic rate of three strobilurin fungicides at pH 7.0

步验证。同时, Strobilurins 杀菌剂在水中的降解性主要受 pH 值影响。嘧菌酯等 3 种农药在酸性水溶液中化学稳定性较碱性水溶液要强, 这主要与 Strobilurins 杀菌剂分子上具有酯、醚基和 CN 键, 易发生碱性水解反应有关。但不同农药在水体中水解 pH 范围不同^[20], 嘧菌酯在 pH7 以下较为稳定, pH>7 时水解反应有所加速; 氰烯菌酯在不同 pH 下水解均较慢, 随着 pH 值的增加其水解速率呈现上升趋势; 醚菌酯在水中降解较快, 受 pH 影响最显著, 在 pH≥5 时明显发生水解反应。同时 Strobilurins 杀菌剂水解速率与温度亦呈正相关关系。综合上述结果可得出, 在高温、碱性条件下, 甲氧丙烯酸酯类杀菌剂易发生水解反应。

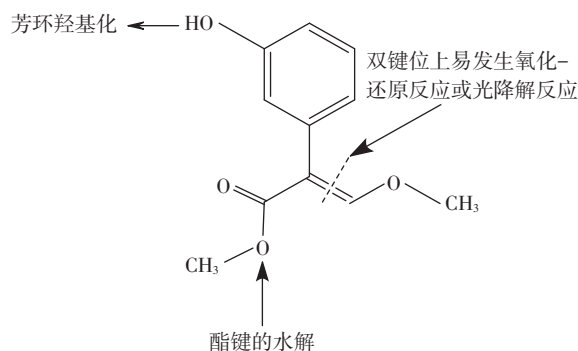


图 3 Strobilurins 杀菌剂主要降解途径

Figure 3 Main degradation pathways of strobilurins

2.2 3 种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂在土壤中的降解特性

农药在土壤中的持留期及最终归宿与其在土壤中的降解速率密切相关。土壤降解特性是评价农药对生态环境影响的重要指标。本研究在 25 ℃条件下, 测定了嘧菌酯、氰烯菌酯和醚菌酯在江西红壤、太湖水稻土与东北黑土中的降解性, 其降解动态均能较好地遵循一级动力学方程, 反映农药在土壤中物理、化学和生物作用下衰减的综合结果^[21], 其结果见表 4、图 4。

由图 4 可见, 嘧菌酯和氰烯菌酯在不同土壤中的降解速率均较慢, 在中性太湖水稻土和碱性东北黑土中较江西红壤的降解相对较快, 其降解速率次序为东北黑土≈太湖水稻土>江西红壤。而醚菌酯在 3 种土壤中均能快速降解, 降解速率基本接近。根据《化学农药环境安全评价试验准则》^[22]中农药在土壤中的降解性划分定级, 醚菌酯属易土壤降解农药, 氰烯菌酯属较难降解至难降解性农药, 嘧菌酯在土壤中属难降解性农药。

表 4 3 种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂在不同土壤中的降解动力学

Table 4 Degradation kinetics of three strobilurin fungicides in different soils

农药	土壤类型	一级动力学方程	半衰期/d	R
嘧菌酯	江西红壤	$\ln C=1.548\ 8-0.001\ 7t$	407	0.969
	太湖水稻土	$\ln C=1.536\ 7-0.002\ 5t$	277	0.981
	东北黑土	$\ln C=1.530\ 6-0.003\ 1t$	223	0.991
氰烯菌酯	江西红壤	$\ln C=1.319\ 0-0.002\ 1t$	330	0.958
	太湖水稻土	$\ln C=1.212\ 4-0.006\ 5t$	107	0.962
	东北黑土	$\ln C=1.208\ 5-0.007\ 2t$	96.3	0.924
醚菌酯	江西红壤	$\ln C=0.873\ 8-1.229\ 6t$	0.56	0.998
	太湖水稻土	$\ln C=0.938\ 8-1.03t$	0.67	0.997
	东北黑土	$\ln C=0.901\ 8-1.1t$	0.63	0.995

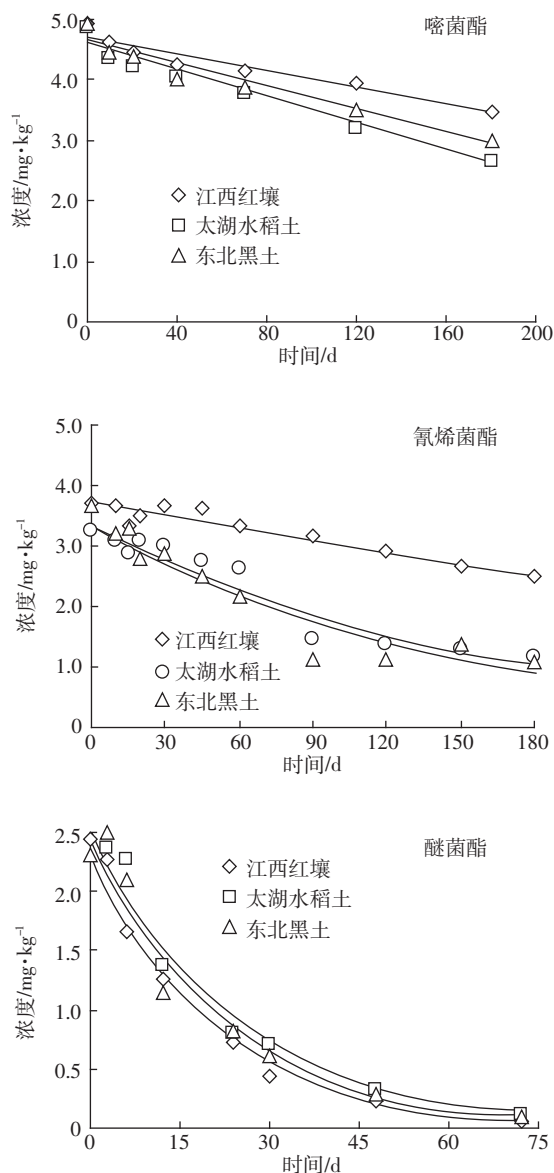


图 4 3 种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂的土壤降解动态

Figure 4 The degradation of three strobilurin fungicides in soils

从表 4 可知,3 种 Strobilurins 杀菌剂的降解半衰期排序为嘧菌酯>氰烯菌酯>醚菌酯,醚菌酯在土壤中的降解快。Bartlett D W 等^[23]研究中显示,醚菌酯在环境土壤中的降解半衰期<1 d,而嘧菌酯的半衰期为 7~56 d 之间,表明醚菌酯在土壤环境中降解非常快速,嘧菌酯较之降解较慢,这与本实验中得到的土壤降解结果相一致。同时有研究认为,嘧菌酯在不同土壤中的降解率与土壤的 pH 值显著相关,与土壤有机质相关性次之,并得出 pH 每增加一个单位量,其 DT₂₅ 则减小 3.6~4.25 周^[24]的结果。本实验中嘧菌酯在江西红壤 (pH5.29)、太湖水稻土 (pH6.23) 和东北黑土 (pH7.86) 中的降解半衰期分别为 407、277、223 d,氰烯菌酯为 330、107、96.3 d,见表 5。由此推测 Strobilurins 杀菌剂在 3 种土壤中的降解性差异主要是因土壤 pH 值的不同引起的,且随 pH 值的增加,降解半衰期减小。

表 5 甲氧丙烯酸酯类杀菌剂在不同土壤和缓冲液中的降解速率

Table 5 Degradation rate of three strobilurin fungicides in different soils and buffer solutions

农药	江西红壤 (pH5.29)	太湖水稻土 (pH6.23)	东北黑土 (pH7.86)	pH5.0 缓冲液	pH7.0 缓冲液	pH9.0 缓冲液
嘧菌酯	k/d^{-1} 0.001 7	0.002 5	0.003 1	0.000 9	0.002 2	0.005 4
	$t_{1/2}/d$ 407	277	223	>1 a	315	128
氰烯菌酯	k/d^{-1} 0.002 1	0.006 5	0.007 2	0.002 9	0.004 1	0.006
	$t_{1/2}/d$ 330	107	96.3	239	169	116
醚菌酯	k/d^{-1} 1.23	1.03	1.10	0.009 3	0.323	6.56
	$t_{1/2}/d$ 0.56	0.67	0.63	74.5	2.14	0.11

2.3 3 种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂在水体中的光降解特性

光化学降解是农药分子接受光辐射能量后,引起农药分子中的某些化学键断裂而产生新化学物质的过程,是农药在环境中消解的重要途径,对农药在大气甚至水环境介质中的残留与归宿,可以产生重大作用^[25-26]。本文采用人工光源氙灯(光强为 4000 lx,紫外强度 $25.0\ \mu W\cdot cm^{-2}$),对嘧菌酯、氰烯菌酯和醚菌酯 3 种 Strobilurins 杀菌剂在纯水中的光降解性能进行研究,结果见表 6、图 5。

避光条件下,3 种 Strobilurins 杀菌剂的对照组浓度基本无变化。嘧菌酯、醚菌酯和氰烯菌酯的光解动态均符合一级动力学规律,光解半衰期分别为 1.24、1.04、29.5 h,光解速率次序依次为醚菌酯>嘧菌酯>氰烯菌酯。因氙灯的光谱特性与太阳光相似,可以认为,在自然环境水体中,嘧菌酯和醚菌酯能够较快地光解,而氰烯菌酯则在水体中滞留期较长,对水体环

表6 3种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂在氙灯下的光解动力学
Table 6 Photolytic kinetics of three strobilurin fungicides under Xenon lamp

农药	一级动力学方程	相关系数	速率常数/h ⁻¹	半衰期/h
嘧菌酯	$\ln C_t = 1.4099 - 0.5611t$	0.9880	0.5611	1.24
氰烯菌酯	$\ln C_t = 0.3780 - 0.0235t$	0.9836	0.0235	29.5
醚菌酯	$\ln C_t = -0.0393 - 0.6664t$	0.9947	0.6664	1.04

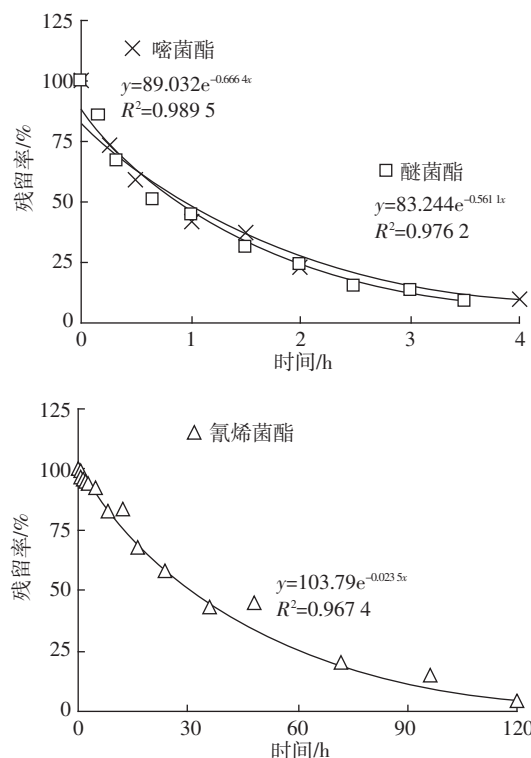


图5 3种甲氧丙烯酸酯类杀菌剂在氙灯下的光降解趋势
Figure 5 Photolytic curve of three strobilurin fungicides under Xenon lamp

境易形成污染。

3 结论

(1) 3种 Strobilurins 杀菌剂在 25℃ 时, 酸、中性水体中的降解速率较慢, 随 pH 值增加水解速率递增。

(2) 嘧菌酯和氰烯菌酯在江西红壤、太湖水稻土和东北黑土中均降解较慢, 半衰期在 96.3~407 d 之间, 而醚菌酯在 3 种供试土壤中均降解较快, 属易降解农药。

(3) 在光源氙灯(光强为 4000 lx, 紫外强度 25.0 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) 照射下, 醚菌酯和嘧菌酯在纯水中易光解, 氰烯菌酯的半衰期达 29.5 h, 光解速率慢, 属难光解性农药。

(4) 嘧菌酯和氰烯菌酯农药在环境中具有较强的稳定性, 可能会对水体和土壤环境造成一定的污染影响, 应引起环境管理部门的关注, 并建议对其使用和残留情况进行跟踪与监测。

参考文献:

- [1] Sauter H, Steglich W, Anke T. Strobilurins: Evolution of a new class of active substances[J]. *Angew Chem Int Ed*, 1999, 38: 1328-1349.
- [2] 罗柏亚. Strobilurin 类杀菌剂: 又一例对天然化合物的成功模拟[J]. 农药, 1999, 38(12): 4-6.
LUO Bai-Ya. The strobilurin fungicide is a successful mimic to the natural compound[J]. *Agrochemicals*, 1999, 38(12): 4-6.
- [3] 骆焱平, 李元祥, 赵培亮, 等. 甲氧丙烯酸酯类杀菌剂的研究进展[J]. 中国科技论文在线, 2006(1): 20-26.
LUO Yan-ping, LI Yuan-xiang, ZHAO Pei-liang, et al. Research progress on the fungicidal strobilurin derivatives[J]. *Sciencepaper On-line*, 2006(1): 20-26.
- [4] 赵平. 甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂的品种及市场[J]. 中国农药, 2012(1): 24-30.
ZHAO Ping. Production and market of strobilurin fungicides[J]. *Journal of China Agrochemicals*, 2012(1): 24-30.
- [5] 罗柏亚. Strobilurins 类杀菌剂研究开发进展[J]. 农药, 2007, 46(5): 289-295.
LUO Bai-ya. The progresses of research and development on strobilurin fungicides[J]. *Agrochemicals*, 2007, 46(5): 289-295.
- [6] 郎玉成, 倪珏萍. 新型杀菌剂: 氰烯菌酯(JS399-19)[J]. 世界农药, 2007, 29(5): 52-53.
LANG Yu-cheng, NI Jue-ping. JS399-19 A new fungicide[J]. *World Pesticides*, 2007, 29(5): 52-53.
- [7] LI Jian-zhong, WU Xian, HU Ji-ye. Determination of fungicide Kre-soxim-Methyl residues in cucumber and soil by capillary gas chromatography with nitrogen-phosphorus detection[J]. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 2006, 41: 427-436.
- [8] Flores J L, Díaz A M D, Córdova M F. Determination of azoxystrobin residues in grapes, musts and wines with a multicommuted flow-through optosensor implemented with photochemically induced fluorescence[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2007(585): 185-191.
- [9] Natalia C, Pilar V, Nerea A, et al. Stir bar sorptive extraction coupled to liquid chromatography for the analysis of strobilurin fungicides in fruit samples[J]. *Journal of Chromatography A*, 2010(1217): 4529-4534.
- [10] 王茜, 钟文英, 黄山. 固相萃取-高效液相色谱法测定水中残留嘧菌酯[J]. 安徽医药, 2009, 13(6): 611-612.
WANG Qian, ZHONG Wen-ying, HUANG Shan. Determination of azoxystrobin residues in surface water by HPLC with solid-phase extraction[J]. *Anhui Medical and Pharmaceutical Journal*, 2009, 13(6): 611-612.
- [11] USEPA. Fate, transport and transformation test guidelines, OPPTS 835. 2120. Hydrolysis[S]. October 2008.
- [12] USEPA. Fate, transport and transformation test guidelines, OPPTS 835. 2130. Hydrolysis as a function of pH and temperature [S]. January

- 1998.
- [13] OECD. Guideline for testing of chemicals:No111. Hydrolysis as a function of pH[S]. 2002.
- [14] EPA. Fate, transport and transformation test guidelines, OPPTS 835. 3300. Soil biodegradation[S]. January 1998.
- [15] EPA. Fate, transport and transformation test guidelines, OPPTS 835. 4100. Aerobic soil metabolism and OPPTS 835. 4200 Anaerobic soil metabolism[S]. October 2008.
- [16] EPA. Fate, transport and transformation test guidelines, OPPTS 835. 2240. Photodegradation in water[S]. October 2008.
- [17] EPA. Fate, transport and transformation test guidelines, OPPTS 835. 2210. Direct photolysis rate in water by sunlight[S]. January 1998.
- [18] 肖 曲,郝冬亮,刘毅华,等. 农药水环境化学行为研究进展[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2008, 18(3):58-61.
- XIAO Qu, HAO Dong-liang, LIU Yi-hua, et al. Research progress in chemistry behavior of pesticides in aquatic environment[J]. *Journal of Emcc*, 2008, 18(3):58-61.
- [19] Hamdy B. Review of strobilurin fungicide chemicals[J]. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 2007, 42:441-451.
- [20] 莫汉宏,安凤春,杨克武,等. 单甲脒水解动力学研究[J]. 环境科学学报, 1995, 15(3):310-315.
- MO Han-hong, AN Feng-chun, YANG Ke-wu, et al. Hydrolytic dynamics of pesticide N'-(2,4-dimethylphenyl)-N-Methylformamidine in aquatic environment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1995, 15(3):310-315.
- [21] 叶常明. 农药在土壤中归趋模型的研究进展[J]. 环境化学, 2005, 24(1):1-6.
- YE Chang-ming. Study on prediction models of pesticide fate in soil environment[J]. *Environmental Chemistry*, 2005, 24(1):1-6.
- [22] 国家环境保护局. 化学农药环境安全评价试验准则[S]. 北京:中国环境科学出版社, 1989.
- SEPA. The test criterion of environmental safety assessment for chemical pesticide[S]. Beijing:China Environment Science Press, 1989.
- [23] Bartlett D W, Clough J M, Godwin J R, et al. The strobilurin fungicides [J]. *Pest Manag Sci*, 2002, 58:649-662.
- [24] Bending G D, Lincoln S D, Edmondson R N. Spatial variation in the degradation rate of the pesticides isoproturon, azoxystrobin and diflufenican in soil and its relationship with chemical and microbial properties[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 139:279-287.
- [25] 刘维屏. 农药环境化学[M]. 北京:化学工业出版社, 2006:199-219.
- LIU Wei-ping. Pesticide environmental chemistry[M]. Beijing:Chemical Industry, 2006:199-219.
- [26] 龚道新,邹雅竹,赵卫星,等. 4 种农药对水中咪鲜胺光降解的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(4):712-715.
- GONG Dao-xin, ZOU Ya-zhu, ZHAO Wei-xing, et al. Effects of four pesticides on photo: Degradation of prochloraz in water[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(4):712-715.

欢迎订阅 2014 年《生态与农村环境学报》

《生态与农村环境学报》系环境保护部主管、环境保护部南京环境科学研究所主办的学术期刊,是中文核心期刊(GCJC)、中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊、中国学术期刊评价研究报告(RCCSE)中国权威学术期刊、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),被中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)、中文社会科学引文索引(CSSCI)、中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)、中国期刊全文数据库(CJFD)、中国核心期刊(遴选)数据库、CA/CABI/BA/BP/BD/UPD/GeoBase/ZR/EM/Scopus/AGRIS、中国农业文摘、中国生物学文摘等国内外重要刊库收录。系全国优秀环境科技期刊,江苏省优秀期刊,中国期刊协会赠建全国百家期刊阅览室指定赠送期刊。

本刊宗旨:及时报道生态与农村环境保护领域研究的动态、理论、方法与成果等。

主要栏目:研究报告、研究简报、研究方法、专论与综述、学术讨论与建议等。

主要内容:(1)区域环境与发展,包括生态环境变化与全球环境影响、区域生态环境风险评价、环境规划与管理、区域生态经济与生态安全等;(2)自然保护与生态,包括自然资源保护与利用、生物多样性与外来物种入侵、转基因生物环境安全与监控、生态保护、生态工程与生态修复、有机农业与农业生态等;(3)污染控制与修复,包括污染控制原理与技术、土壤污染与修复、水环境污染与修复、农业废物综合利用与资源化、农用化学品(包括化学品)风险评价与监控等。

主要读者对象:从事生态学、环境科学、农学、林学、地学、资源科学等研究、教学、生产的科技人员,相关专业的高等院校师生以及各级决策与管理人员。

本刊为双月刊,逢单月 25 日出版,A4 开本,每期 136 页,每期定价 20.00 元,全年定价 120.00 元,公开发行,国内邮发代号 28-114,国内各地邮局均可订阅;国外由中国国际图书贸易总公司(北京 399 信箱)负责发行,国外发行代号 Q5688。如漏订,可向本刊编辑部补订。

编辑部地址:江苏省南京市蒋王庙街 8 号

电话:(025)85287036,85287052,85287053

网址:http://www.ere.ac.cn

邮政编码:210042

邮箱:ere@vip.163.com,bjb@nies.org