

农药风险评估技术在农药减量化中的应用

何 健, 吴文铸, 孔德洋, 周 艳, 焦少俊^①, 单正军 (环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 为减少苕溪流域农药施用量,降低该流域农药对水生生物的环境风险,通过调查苕溪流域防治卷叶螟虫 (*Cnaphalocrocis medinalis*)、稻飞虱 (*Delphacidae*) 和水稻纹枯病的农药品种及用量,以农药暴露模拟外壳为工具,运用农药风险评估技术分析其产生的环境风险,并根据风险选择农药品种及用量。结果表明:以吡蚜酮代替噻嗪酮可减少农药用量 $765 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$,以阿维菌素代替骠子可减少农药 $0.75 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$,以爱苗替代井冈霉素可减少农药 $4.27 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$,替代后常规农药总用量降低 $5.79 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。同时该替代技术对试验区水稻产量和病虫害的防治效果大多优于当地农户单独分散用药。由于控制了用药次数和用药量,用药成本下降,水稻种植的经济效益则增加。该技术在减少农药总施用量的同时也降低了农药对水生生物环境毒性的影响,从源头控制了农业面源污染中的化学污染物。

关键词: 农药; 面源污染; 控制; 苕溪流域

中图分类号: X52; TQ450.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2016)06-1008-04

DOI: 10.11934/j.issn.1673-4831.2016.06.022

Application of Pesticide Risk Assessment Techniques to Pesticide Pollution Control. HE Jian, WU Wen-zhu, KONG De-yang, ZHOU Yan, JIAO Shao-jun, SHAN Zheng-jun (Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China)

Abstract: In order to reduce pesticide use in the Tiaoxi Watershed and lower environmental risk of the pesticides on aquatic organisms, a field survey was carried out of types and rates of the pesticides used to control leaf borers, planthoppers and rice sheath blight in the watershed; environmental risks of the pesticides assessed using the technique for pesticide risk assessment, and simulated shells for exposure of pesticides; and optimal types and optimal application rates of pesticides determined according to their risks, separately. Results show that the use of pymetrozine to replace buprofezin reduced the application rate of pesticide by $765 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$; the use of avermectin to replace Jiaozi did by $0.75 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$; and the use of Armure to replace Jinggangmycin did by $4.27 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$. In total, the replacements of the conventional pesticides reduced the use of pesticides by $5.79 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$. Meanwhile, the replacements improved crop yield and pest control effect in the experiment field over their respective ones in paddy fields of local farmers using conventional pesticide. Thanks to its lowered frequency and rates, the use of the replacement pesticides lowered pest control cost and in turn raised economic profit of the crop. Therefore, it could be concluded that this technology can reduce not only the total amount of pesticides to be used, but also their toxic impacts on aquatic bio-environment, thus controlling the non-point source chemical pollution at the source.

Key words: pesticide; non-point source pollution; control; Tiaoxi Watershed

农业面源污染是指由沉积物、农药、废料和致病菌等分散污染源引起的对水层、湖泊、河岸、滨岸和大气等生态系统的污染。农业面源污染最直接和显著的危害对象是水环境,而对水体环境的污染主要分为营养型和毒害型污染物 2 大类^[1-3]。20 世纪 50 年代开始的农业绿色革命,通过增加化肥、杀虫剂和除草剂的投入有效地增加了粮食产量。但是,这种高投入的农业方式也对环境产生了一些负面影响。随着化学品使用量的增加,其所携带的有机物污染物也呈明显增长趋势,正逐步成为影响水土壤环境的重要污染源^[4]。通过近 20 a 的研究,我国

已初步形成了“减源-控污-截留-修复”的农业面源污染源控制思路^[5-7]。减源即从源头减少污染物向河流的排放,是农业面源污染控制的重要手段;控污方面,当前主要发展趋势逐渐转向非化学或低污染的化学防治技术。目前关于化学农药的减量研究主要从以下几个方面开展:及时准确减少预防性

收稿日期: 2016-01-11

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07203-007)

^① 通信作者 E-mail: jsj@nies.org

用和盲目用药;改进农药施用方法及选择环保型农药;开展有害生物的生物防治,选择天敌昆虫和生物农药解决化学农药残留问题^[8]。而农药生态风险评价技术作为现阶段研究的热点,在化学农药减量使用研究中是一项重要的技术支撑。农药生态风险评价是近十几年逐渐兴起并得到发展的一个研究领域,该技术将农药作为风险源,运用公式、模型等估算预测或者实际监测农药施用后在环境中的暴露浓度,并结合该农药对环境生物的毒性进行生态风险评价,最后对风险进行表述。目前欧盟、美国和日本等发达国家已经形成了比较完整和成熟的评价技术。我国目前正在建立一系列相应的风险评价准则,同时也建立了一些地下水、地表水等方面的预测模型,建立了棉花、水稻和玉米等不同种植模型的暴露场景^[9-10]。笔者以苕溪流域为研究对象,以农药暴露模拟外壳为工具,通过运用农药环境风险评价技术研究其在水稻种植农药面源污染风险防控和化学农药减量中的作用,以期减少该地区农业面源污染提供理论依据。

1 研究方法

根据研究区域内农药施用现状调查结果,确定病虫害防治策略,再依据农药风险评价准则和农药暴露模拟外壳(pesticide risk assessment exposure simulation shell, PRAESS)模型,分别选择普通常规性用药和替代性高效品种,以环境风险为指标,研究农药替代品种及可消减的农药施用量。具体流程如图1所示:(1)农药暴露模拟外壳中模型的选择;(2)参数收集,收集暴露评价模型所需的输入参数及水生效应数据;(3)暴露预测,将输入参数输入水生暴露评价模型进行暴露预测;(4)风险计算,将预测得到的暴露浓度值与毒性效应终点值相比,得到风险商值。

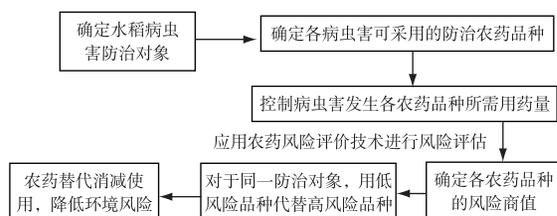


图1 水稻种植农药使用替代消减技术流程

Fig. 1 Flowchart of the pesticide replacement technique in rice cultivation

农药暴露模拟外壳由环境保护部南京环境科

学研究所开发构建,其中包含 PRZM-EXAMS、RICEWQEXAMS 和 PRZM-ADAM 3 套模拟模型(表1),分别模拟旱地作物-地表水、水稻-地表水和旱地作物-地下水 3 种不同场景类型,模拟可分别得到旱地、稻田附近水体以及地下水中农药浓度,主要用于农药在旱地作物、水稻上施用后对水生生物和地下水的风险评价^[11-13]。在该实验中选择浙江杭州水稻-地表水暴露场景进行模拟。

表1 PRAESS 中的暴露场景

Table 1 Scenarios of exposure in PRAESS

模型名称	保护目标	作物	位点	水体类型
PRZM-EXAMS	地表水	棉花	江苏南通	池塘、河流
	地表水	玉米	河南驻马店	池塘、河流
RICEWQEXAMS	地表水	水稻	浙江杭州	池塘、河流
	地表水	水稻	江苏常州	池塘、河流
PRZM-ADAM	地下水	棉花	江苏南通	地下蓄水体
	地下水	玉米	河南驻马店	地下蓄水体

2 研究结果

2.1 苕溪流域农药使用状况调查

主要调查了苕溪流域周边的农田农药施用情况,主要内容包括当地防治水稻病虫害稻飞虱(*Delphacidae*)、稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)和水稻纹枯病采用的主要农药品种。调查途径主要包括资料调研和实地调查,调查结果见表2。

表2 苕溪流域常用农药使用状况调查

Table 2 Usage of conventional pesticides in paddy fields in the Tiaoxi Watershed

防治对象	农药品种及含量 ¹⁾	当地推荐用量 ²⁾ / (g · hm ⁻² 或 mL · hm ⁻²)	有效用量/ (g · hm ⁻²)
稻飞虱	25%扑虱灵(噻嗪酮)	1 125	285
	25%飞电(吡蚜酮)	360	90
稻纵卷叶螟	32%骄子(氟铃脲2%, 丙溴磷30%)	1 500	480
	2%阿维菌素	750	15
水稻纹枯病	5%井冈霉素	4 500	225
	30%爱苗(苯甲15%, 丙环唑15%)	225	67

1) 农药含量均以质量分数表示。2) 飞电、骄子和爱苗单位为 g · hm⁻²,扑虱灵、阿维菌素和井冈霉素单位为 mL · hm⁻²。

2.2 苕溪流域常用农药对水生生物的风险预测

2.2.1 最高暴露浓度的预测

水稻种植农药使用替代消减技术研究的关键是针对目前防治本地区主要病虫害所用的农药品

种,采用农药环境风险评价技术对农药在环境中的风险商值进行评价。在该次评价中,选择 PRAESS 中浙江杭州水稻-地表水暴露场景开展评价。评价的主要因素包括农药的分子量、溶解度、吸附常数 (K_d 或 K_{oc})、水中降解半衰期、土壤中降解半衰期、

底泥中降解半衰期、光解半衰期、施用量以及各施用农药品种对水生生物鱼的急性半致死浓度 (LC_{50} 值) 和无毒性影响浓度因子 A_1 等,表 3 列出了主要防治病虫害农药品种的风险评价的几项参数^[14]。

表 3 若溪流域常用农药品种风险评价主要参数

Table 3 Main parameters in risk assessment of the pesticides commonly used in the Tiaoxi Watershed

农药品种及含量 ¹⁾	有效用量/ ($g \cdot hm^2$)	相对分子 质量	溶解度/ ($mg \cdot L^{-1}$)	吸附常数 K_{oc}	水中降 解半衰 期/d	土壤、底泥 降解半 衰期/d	自然光解 半衰期/ d	最高预测 浓度 MPEC/ ($\mu g \cdot L^{-1}$)
噻嗪酮	285	305.4	0.46	2 200	20	80	33	95.6
吡蚜酮	90	217	270	1 510	6	14	6.8	6.6
2% 氟铃脲	30	461	0.027	10 391	12	57	6.3	1.12
30% 丙溴磷	450	373.6	28	2 016	30	7	20	69.6
2% 阿维菌素	15	866.6	1.21	5 638	2.4	1	1.5	0.015
5% 井冈霉素	225	497.5	61 000	100	10	1	5	10.7
15% 苯醚甲环唑	33.75	406.3	15	3 760	10	85	5	2.47
15% 丙环唑	33.75	342.2	150	1 086	6	214	10	4.03

1) 农药含量均以质量分数表示。

2.2.2 风险商的计算

风险商计算公式: 风险商 = [水体环境最高预测浓度 (MPEC) \times 无观测影响因子] / 水生生物鱼类 LC_{50} 值。根据急性影响浓度稀释 10 倍为慢性影响浓度,再稀释 10 倍为无观测影响浓度,无观测影响

因子 A_1 取值 $10 \times 10 = 100$ 。风险商值大于 1,表明该种农药存在环境风险;风险商值越高,表示该种农药对水生环境的风险越大。据此计算得到防治当地主要病虫害可用农药品种的风险商值,结果见表 4。

表 4 防治水稻病虫害所用农药品种的风险商值

Table 4 Risk quotients of the pesticides used to control rice pests

农药品种及含量 ¹⁾	推荐用量/ g	有效用量/ g	水生生物鱼 LC_{50} 值/ ($mg \cdot L^{-1}$)	风险商值 ²⁾
25% 扑虱灵 (噻嗪酮)	1 125	285	2	4.780
32% 骄子 (氟铃脲丙溴磷)	1 500	15	100	0.001
		225	0.1	69.600
5% 井冈霉素	4 500	225	1 000	0.001
25% 飞电 (吡蚜酮)	360	90	>100	0.007
2% 阿维菌素	750	30	0.11	0.014
30% 爱苗 (苯醚甲环唑丙环唑)	225	33.75	1	0.247
		33.75	5	0.081

1) 农药含量均以质量分数表示; 2) 应用农药环境风险评价技术推算所用农药的环境风险商以 $100 mg \cdot L^{-1}$ 计。

2.3 污染防治所取得效果

根据农药品种的风险商值,结合当地水稻生产情况,对农药进行筛选替代,减少高环境风险农药的施用,降低水环境毒性影响。目前当地针对几种常见病虫害的常用农药品种为噻嗪酮、骄子 (氟铃脲和丙溴磷) 以及井冈霉素,该研究中采用的相同防治对象的替代农药为飞电 (吡蚜酮)、阿维菌素以及爱苗 (苯醚甲环唑和丙环唑),计算得到的这几种农药的风险商值如表 4 所示。防治稻飞虱和卷叶螟

虫害的农药品种噻嗪酮和骄子对水生生物环境风险商值高于 1,而吡蚜酮和阿维菌素的水生生物环境风险商值低于 1,而防治水稻纹枯病的农药井冈霉素和爱苗的环境风险商值较低,均低于 1。根据风险商值,开展农药替代性使用时,对于同一防治对象,以低环境风险农药代替高风险农药;对于环境风险都较低的农药,结合农田防治效果进行替代性使用。在此处农药替代使用技术研究中,对于防治稻飞虱,以吡蚜酮代替噻嗪酮防治卷叶螟虫,

以阿维菌素代替吡蚜酮农药。而对于水稻纹枯病,由于环境风险均较低,结合防治效果,以农药爱苗替代井冈霉素。同时,以吡蚜酮代替噻嗪酮可减少农药用量 $765 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$,以阿维菌素代替吡蚜酮可减少农药用量 $0.75 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$,以爱苗替代井冈霉素可减少农药用量 $4.27 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。替代后常规使用农药用量降低 $5.79 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2.4 对病虫害防控和水稻产量的影响

开展水稻种植农药使用替代消减试验后,在水稻生长后期试验区进行水稻种植农药使用替代消减技术示范后几种病虫害防治效果的调查,以了解农药使用替代消减技术对主要病虫害的防治效果。调查的病虫害对象为稻飞虱、稻纵卷叶螟、水稻纹枯病和稻曲病。调查结果表明,对稻纵卷叶螟和稻飞虱的防治效果分别为 79.3% 和 86.6%,纹枯病和稻曲病的发病率则分别为 4.01% 和 0。而农户分散单独用药情况下,稻纵卷叶螟和稻飞虱的防治效果分别为 81.9% 和 86.3%,纹枯病和稻曲病的发病率则分别为 3.13% 和 2.0%。试验的开展并未明显影响水稻病虫害的防治效果,与当地农户高用药情况下的防治效果相当,某些病虫害防治效果甚至更优。这些结果都表明水稻种植农药使用替代消减技术不仅在短期内有效控制了稻飞虱、稻纵卷叶螟、水稻纹枯病和稻曲病等主要水稻病虫害的发生,而且在整个水稻生育期内,包括各后期生长等各病虫害重点发生阶段都起到了很好的控制作用。

随机采集稻田水稻样本,以了解水稻种植农药使用替代消减技术对试验区内水稻产量的影响。通过对农药使用替代消减技术的开展与农户分散单独用药情况下水稻的产量调查可知,调查田块中水稻产量为 $7\ 658.6 \sim 9\ 525.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,而农户分散单独用药情况下为 $7\ 832.9 \sim 8\ 054.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。水稻种植农药使用替代消减技术对水稻产量没有产生明显的不利影响。水稻种植农药使用替代消减技术的水稻产量大多高于当地农户单独分散用药的水稻产量,实施农药使用替代消减技术有效促进了水稻产量,提升产出效益,减少用药成本,大大增加了水稻种植的经济效益。

3 结论

针对苕河流域防治卷叶螟虫、稻飞虱和水稻纹枯病的农药品种及其用量,采用农药风险评价技术分析其产生的环境不利风险,并根据风险来选择农药品种及施用量,对农药进行筛选替代。该技术不仅大大减少了农药的总施用量,同时也大大降低了

农药的环境风险商值。减少高环境风险农药的施用,降低水环境毒性的影响,有效地从源头控制了农业面源污染中的化学污染物。同时水稻种植农药使用替代消减技术对水稻产量和病虫害的防治也没有产生明显的不利影响。根据调查结果,水稻种植农药使用替代消减技术的水稻产量和对病虫害的防治效果大多优于当地农户单独分散用药,并且由于控制了用药次数和用药量,降低了用药成本,增加了水稻种植的经济效益。

参考文献:

- [1] 赵永宏,邓祥征,战金艳,等.我国农业面源污染的现状与控制技术研究[J].安徽农业科学,2010,38(5):2548-2552.
- [2] 杨林章,冯彦房,施卫明,等.我国农业面源污染治理技术研究进展[J].中国生态学报,2013,21(1):96-101.
- [3] WU Y H, HE J Z, YANG L Z. Evaluating Adsorption and Biodegradation Mechanisms During the Removal of Microcystin-RR by Periphyton[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(16): 6319-6324.
- [4] 吴永红,胡正义,杨林章.农业面源污染控制工程的“减源-拦截-修复”(3R)理论与实践[J].农业工程学报,2011,27(5):2548-2552.
- [5] 章明奎.我国农业面源污染可持续防控政策与技术的探讨[J].浙江农业科学,2015,56(1):10-14.
- [6] QIAO J, YANG L Z, YAN T M, et al. Nitrogen Fertilizer Reduction in Rice Production for Two Consecutive Years in the Taihu Lake Area[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 146(1): 103-112.
- [7] 杨林章,施卫明,薛利红,等.农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践:总体思路与“4R”治理技术[J].农业环境科学学报,2013,32(1):1-8.
- [8] 黄春艳.化学农药减量使用的可行性和实施对策[J].黑龙江农业科学,2014(11):145-147.
- [9] 何健.丁虫脒在稻田中的环境归趋及其对水生生物风险评价研究[D].南京:南京农业大学,2013.
- [10] 张国祥.稻田使用农药水生生态风险评价技术建立与应用研究[D].南京:南京信息工程大学,2014.
- [11] 程燕,周军英,单正军.长江三角洲流域保护水生生物优先控制农药品种筛选[J].生态与农村环境学报,2014,30(6):785-794.
- [12] 张国祥,周军英,姜锦林,等.丙环唑在稻田使用后对水生生物的影响[J].农药科学与管理,2014,35(4):36-40.
- [13] 周军英,程燕.农药生态风险评价研究进展[J].生态与农村环境学报,2009,25(4):95-99.
- [14] 程燕,周军英,单正军.基于 RICEWQ-EXAMSM 模型的东苕河流域用药的水生生态及健康风险评价[J].生态与农村环境学报,2012,28(5):579-586.

作者简介:何健(1988—),男,江苏淮安人,助理研究员,硕士,主要从事污染物环境行为研究。E-mail: hejian@nies.org

(责任编辑:陈昕)