

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20200207002

程燕, 闫新利, 周军英, 等. 毒死蜱、二嗪磷等6种农药对鸟类的环境风险评估[J]. 生态毒理学报, 2021, 16(3): 273-279

Cheng Y, Yan X L, Zhou J Y, et al. Avian risk assessment of six pesticides including chlorpyrifos, diazinon [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2021, 16(3): 273-279 (in Chinese)

## 毒死蜱、二嗪磷等6种农药对鸟类的环境风险评估

程燕, 闫新利, 周军英\*, 谭丽超, 杨小锋, 卜元卿, 单正军

生态环境部南京环境科学研究所, 南京 210042

收稿日期: 2020-02-07 录用日期: 2020-06-01

**摘要:** 应用现有的评估方法, 对毒死蜱、二嗪磷、乐果、吡虫啉、抗蚜威和灭多威6种农药对鸟类的风险进行评估, 评估结果表明, 经食途径, 乐果、毒死蜱和二嗪磷对鸟类的初级急性、短期和长期风险均不可接受; 吡虫啉对鸟类的初级急性风险和长期风险不可接受; 抗蚜威和灭多威对鸟类的初级急性风险不可接受, 对鸟类的初级短期和长期风险可接受。通过饮水途径, 只有毒死蜱对鸟类的急性风险无需关注, 其他农药品种对鸟类的急、慢性风险均需关注。吡虫啉、毒死蜱、二嗪磷和灭多威4种农药通过喷雾液滴吸入途径对鸟类产生的风险需要引起关注, 乐果和抗蚜威通过喷雾液滴吸入途径对鸟类产生的风险无需关注; 6种农药通过挥发相吸入途径对鸟类产生的风险均无需关注。评估结果可为6种农药的安全使用和的环境安全管理提供科学参考, 同时对我国现有评估指南的完善提出了建议。

**关键词:** 农药; 鸟类; 环境风险评估; 经食途径; 饮水途径; 吸入途径

文章编号: 1673-5897(2021)3-273-07 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

## Avian Risk Assessment of Six Pesticides Including Chlorpyrifos, Diazinon

Cheng Yan, Yan Xinli, Zhou Junying\*, Tan Lichao, Yang Xiaofeng, Bu Yuanqing, Shan Zhengjun  
Nanjing Institute of Environmental Science, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China

Received 7 February 2020 accepted 1 June 2020

**Abstract:** The risks of six pesticides (chlorpyrifos, diazinon, dimethoate, imidacloprid, pirimicarb and methomyl) to birds were assessed using the existing assessment methods. The results showed that through exposure route of dietary, the primary acute, short-term and long-term risks of dimethoate, chlorpyrifos and diazinon to birds were unacceptable; the primary acute and long-term risks of imidacloprid to birds were unacceptable; the primary acute risks of pirimicarb and methomyl to birds were unacceptable, and the primary short-term and long-term risks of pirimicarb and methomyl to birds were acceptable. Through exposure route of drinking water, the risk of chlorpyrifos to birds was acceptable, and the risks of other five pesticides to birds were worthy of concern. Through exposure route of spray droplet inhalation, the risks of dimethoate and pirimicarb to birds were acceptable, and the risks of imidacloprid, chlorpyrifos, diazinon and methomyl to birds were worthy of concern. Through exposure route of vapor phase inhalation, the risks of all the six pesticides to birds were acceptable. The assessment results could provide scientific reference for the safe use and the environmental safety management of these pesticides. Meanwhile, suggestions for improvement of the existing assessment guideline in China were put forward at the end of this paper.

第一作者: 程燕(1981—), 女, 博士, 副研究员, 研究方向为农药环境毒理学和环境风险评估, E-mail: chynies@163.com

\* 通讯作者( Corresponding author), E-mail: zhjynies@163.com

**Keywords:** pesticides; avian; environmental risk assessment; dietary route; drinking water route; inhalation route

鸟类是自然生态系统中重要的生物类群和十分宝贵的自然资源,在消灭农林害虫、害兽以及维护生态平衡方面发挥着极其重要的作用。我国是鸟类资源最丰富的国家,在我国广袤的国土上生活着 21 目 1 244 种不同的鸟类,约占全球已知鸟类总数的 13.79%<sup>[1]</sup>。农药在控制作物病虫害方面发挥着积极的作用,是一种重要的农业生产资料,但农药在农田使用后只有少数(30%左右)会被作物吸收利用,部分通过漂移、沉降和径流等途径进入地表水,大部分残留在土壤中,或通过淋溶进入地下水。而栖息生活在大自然中的鸟类可通过饮水、呼吸和饮食等途径暴露于农药中,从而产生风险。评估农药使用对鸟类的风险对于农药的安全使用具有重要的指导作用,从源头控制农药使用可降低对鸟类的风险、保护鸟类资源。目前,农药管理较为先进的国家和组织均已制订了相应的评估导则,评估农药在农田使用后对鸟类的风险,美国环境保护局(US EPA)早在 1999 年就公布了《联邦杀虫剂杀菌剂和杀鼠剂法案(FIFRA)风险评估方法生态委员会陆生草案报告》(ECOFRAM Terrestrial Draft Report)<sup>[2]</sup>;欧洲食品安全管理局(EFSA)于 2009 年公布了《鸟类与哺乳动物风险评估指南》(Risk Assessment for Birds and Mammals)<sup>[3]</sup>;中国也于 2016 年发布了《农药登记 环境风险评估指南 第 3 部分:鸟类》(NY/T 2882.3—2016)<sup>[4]</sup>。但与 US EPA 和 EFSA 相比,我国的鸟类环境风险评估指南只规定了饮食暴露途径下的暴露评估方法,未考虑其他可能的暴露途径,因此有可能低估了农药使用对鸟类的风险。

本文根据我国已发布的《农药登记 环境风险评估指南 第 3 部分:鸟类》(NY/T 2882.3—2016),应用其中规定的饮食途径暴露评估公式及 US EPA 常用的饮水、吸入途径暴露评估公式,以及常用的效应评估和风险表征方法,对毒死蜱、二嗪磷、乐果、吡虫啉、抗蚜威和灭多威 6 种对鸟类毒性较高的农药进行鸟类环境风险评估,一方面对我国现有评估指南的完善具有重要的借鉴意义,另一方面,评估结果可为这 6 种农药的安全使用和环境安全管理提供科学参考。

## 1 研究方法 (Research methods)

### 1.1 经食途径暴露的风险评估方法

经食途径暴露的风险评估按照《农药登记 环境

风险评估指南 第 3 部分:鸟类》(NY/T 2882.3—2016)进行,以下简称“指南”。“指南”规定了喷雾、种子处理、撒施颗粒剂及投放毒饵 4 种施用方式下的暴露评估公式,可根据施用方式选择相应的场景进行暴露评估。效应评估主要关注农药对鸟类的急性经口、短期饲喂和繁殖毒性效应,通过试验获得急性经口半数致死剂量(LD<sub>50</sub>)、短期饲喂半数致死浓度(LC<sub>50</sub>)及繁殖无可观察效应浓度(NOEC)值。最后采用商值法进行风险表征,风险商值(RQ)≤1,风险可接受;RQ>1,风险不可接受<sup>[4]</sup>。

### 1.2 饮水途径暴露的风险评估方法

#### 1.2.1 饮水途径暴露评估模型介绍

筛查水平饮水模型(screening imbibition program, SIP)用于计算饮水暴露途径下鸟类的农药暴露量<sup>[5]</sup>。暴露量的计算以如下假设为基础:1) 将 25 °C 时农药在水中的最大溶解度作为农药在饮用水中的浓度;2) 鸟类完全从含待评估农药的水中获取饮用水;3) 鸟类每日饮水量根据 Nagy 和 Peterson<sup>[5]</sup>文献中的公式计算;4) 鸟的体质量假设为 20 g。

暴露量计算公式如下<sup>[6]</sup>:

暴露量=(鸟类每日饮水量×溶解度)/体质量 (1)  
式中:鸟类每日饮水量=(1.180×体质量<sup>0.874</sup>)/1000=0.0162 L;溶解度单位为 mg·L<sup>-1</sup>;体质量为 20 g。

#### 1.2.2 饮水途径暴露的效应评估终点校正

饮水途径暴露的效应评估终点分急性效应评估终点和慢性效应评估终点。

(1)急性效应评估终点的校正

急性效应评估终点的校正按式(2)进行<sup>[6]</sup>。

$$AT = LD_{50} \times (AW/TW)^{x-1} \quad (2)$$

式中:AT 为校正急性毒性终点值(mg·kg<sup>-1</sup>);LD<sub>50</sub> 为试验毒性终点值(mg·kg<sup>-1</sup>);AW 为评估鸟类的体质量(g);TW 为试验鸟的体质量(g);x 为 mineau 尺度因子,不同农药品种的 x 值如表 1 所示,如果没有该值,则默认为 1.15。

(2)慢性效应评估终点的校正

慢性效应评估终点的校正按式(3)进行<sup>[6]</sup>。

$$\text{Dose Equiv. Toxicity} = (\text{NOAEC} \times 0.0582 \times \text{BW}^{0.651}) / \text{BW} \quad (3)$$

式中:Dose Equiv. Toxicity 为校正慢性毒性终点值(mg·kg<sup>-1</sup>);NOAEC 为试验毒性终点值(mg·kg<sup>-1</sup>);BW 为试验鸟的体质量(kg)。

### 1.2.3 饮水途径暴露的风险表征方法

饮水途径同样采用商值法进行风险表征。对于急性暴露,如果暴露量与校正急性毒性终点值(AT)的比值 $<0.1$ ,则认为无需关注饮水途径的急性暴露,反之,如果暴露量与 AT 的比值 $\geq 0.1$ ,则认为需关注饮水途径的急性暴露;对于慢性暴露,如果暴露量与校正慢性毒性终点值(Dose Equiv. Toxicity)的比值 $< 1$ ,则认为无需关注饮水途径的慢性暴露,反之,如果暴露量与 Dose Equiv. Toxicity 的比值 $\geq 1$ ,则认为需关注饮水途径的慢性暴露<sup>[6]</sup>。

### 1.3 吸入途径暴露的风险评估方法

#### 1.3.1 吸入途径暴露评估模型介绍

吸入风险筛查模型(screening tool for inhalation risk, STIR)用于计算吸入暴露途径下鸟类的农药暴露量。模型计算以农药的具体信息为基础,包括分子量、蒸气压等。模型主要关注 2 种吸入暴露途径:施用后的液滴吸入和挥发相吸入。STIR 的概念模型如图 1 所示<sup>[7]</sup>。

在计算暴露量时,还需考虑农药的使用方式,如果农药以喷雾方式使用,则需计算喷雾液滴吸入和挥发相吸入 2 种途径的暴露量;如果农药以非叶面方式(如颗粒剂、种子处理剂)使用,则只需计算挥发相吸入途径的暴露量。

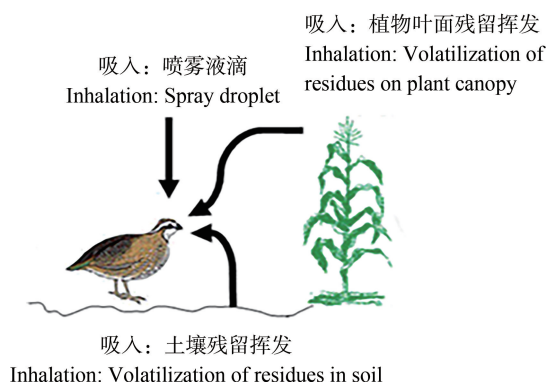


图 1 吸入风险筛查模型 (STIR) 的概念模型  
Fig. 1 Conceptual model of screening tool for inhalation risk (STIR)

挥发相吸入途径和喷雾液滴吸入途径的暴露量计算公式分别见式(4)和式(5)<sup>[7]</sup>。

$$VIDavian = 6.741 \times VP \times MV \quad (4)$$

式中:VIDavian 为挥发途径吸入剂量( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 6.741 为转换系数;VP 为农药的蒸气压( $\text{mmHg}$ );MV 为农药的分子量( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )。

$$SIDavian = 9.394 \times AR \quad (5)$$

式中:SIDavian 为喷雾液滴吸入剂量( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{bw}$ ); 9.394 为转换系数;AR 为农药施用量( $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ )。

表 1 不同农药品种的 mineau 尺度因子

Table 1 Mineau scaling factors of different pesticides

农药名称 Pesticide name	Mineau 尺度因子 Mineau scaling factor	农药名称 Pesticide name	Mineau 尺度因子 Mineau scaling factor
3-氯- <i>p</i> -邻甲苯胺 3-chloro-2-methylaniline	0.9724	倍硫磷 Fenthion	1.2081
4-氨基吡啶 4-aminopyridine	0.9970	灭虫威 Mesurol	1.4079
涕灭威 Aldicarb	1.4021	灭多威 Methomyl	1.0778
$\alpha$ -氯醛糖 Alpha-chloralose	1.2780	甲咪酯 Metomidate	1.1044
合杀威 Bufencarb	1.1161	速灭磷 Mevinphos	0.8371
溴鼠隆 Brodifacoum	0.7589	治克威 Mexacarbate	0.8135
西维因 Carbaryl	1.5518	久效磷 Monocrotophos	0.8938
克百威 Carbofuran	0.8891	硫酸烟碱 Nicotine sulfate	1.5370
毒虫畏 Chlorfenvinphos	1.2561	对硫磷 Parathion	1.1761
毒死蜱 Chlorpyrifos	1.1573	盐酸苯环定 Phencyclidine hydrochloride	1.1142
蝇毒磷 Coumaphos	1.3424	磷胺 Phosphamidon	1.1508
内吸磷 Demeton	1.2018	抗蚜威 Pirimicarb	1.1320
二嗪磷 Diazinon	0.6284	残杀威 Propoxur	1.2942
百治磷 Dicrotophos	1.1180	氟乙酸钠 Sodium fluoroacetate	1.3180
狄氏剂 Dieldrin	1.2447	3-氯-4-甲基苯胺 Starlicide	0.7828
苯硫磷 Ethyl para-nitro-phenyl	1.2432	番木鳖碱 Strychnine	1.1509
杀螟硫磷 Fenitrothion	1.0401	双硫磷 Temephos	1.2116
丰索磷 Fensulfthion	1.2909	敌百虫 Dipterex	1.3153

### 1.3.2 吸入途径暴露的效应评估终点校正

在农药登记申请时,由于目前没有鸟类吸入毒性数据方面的要求,因此鸟类吸入毒性  $LD_{50}$  由小鼠吸入  $LD_{50}$  外推得到,公式如下<sup>[7]</sup>:

$$LD_{50est} = (LD_{50ao} \times LD_{50ri}) / (3.5 \times LD_{50ro}) \quad (6)$$

式中: $LD_{50est}$  为估算鸟类经口  $LD_{50}$  ( $mg \cdot kg^{-1} bw$ );  $LD_{50ao}$  为鸟类经口  $LD_{50}$  ( $mg \cdot kg^{-1} bw$ );  $LD_{50ri}$  为小鼠吸入  $LD_{50}$  ( $mg \cdot kg^{-1} bw$ ); 3.5 为外推系数;  $LD_{50ro}$  为小鼠经口  $LD_{50}$  ( $mg \cdot kg^{-1} bw$ )。

获得  $LD_{50est}$  后,还需要根据式(2)对  $LD_{50est}$  值进行校正,获得校正  $LD_{50}$  值。

### 1.3.3 吸入途径暴露的风险表征方法

采用商值法进行风险表征,分别将挥发相吸入途径暴露量和/或喷雾液滴吸入途径暴露量与校正毒性终点值相比,如果比值  $< 0.1$ ,则认为无需关注吸入途径的暴露,反之,如果比值  $\geq 0.1$ ,则认为需关注吸入途径的暴露<sup>[7]</sup>。

### 1.4 6种农药对鸟类的风险评估参数

根据各途径暴露的评估公式,收集获得6种农药对鸟类的风险评估参数,如表2和表3所示<sup>[8-14]</sup>。

## 2 6种农药对鸟类的环境风险评估结果(Avian environmental risk assessment results of six pesticides)

6种农药对鸟类的环境风险评估结果分别如表4~表6所示。

由表4可知,在所评估的6种农药中,吡虫啉以最大用量喷雾使用,经食途径对鸟类的初级急性和长期风险不可接受,短期风险因缺乏短期饲喂毒性数据而未能评估;乐果、毒死蜱和二嗪磷以最大用量喷雾使用,经食途径对鸟类的初级急性、短期和长期风险均不可接受;抗蚜威和灭多威以最大用量喷雾使用,经食途径对鸟类的初级急性风险不可接受,对鸟类的初级短期和长期风险可接受。

表2 6种农药对鸟类的暴露评估参数

Table 2 Exposure assessment parameters of six pesticides

农药名称 Pesticide name	分子量/( $g \cdot mol^{-1}$ ) Molecular mass /( $g \cdot mol^{-1}$ )	溶解度/( $mg \cdot L^{-1}$ ) Solubility /( $mg \cdot L^{-1}$ )	蒸气压/mmHg Vapour pressure/ mmHg	施用方式 Applying method	施用量/( $g \text{ a.i.} \cdot hm^{-2}$ ) <sup>[15]</sup> Applying rate /( $g \text{ a.i.} \cdot hm^{-2}$ ) <sup>[15]</sup>
乐果 Dimethoate	229.3	39 800	$1.8525 \times 10^{-6}$	喷雾 Spray	750 (棉花 Cotton)
吡虫啉 Imidacloprid	255.7	613	$6.75 \times 10^{-12}$	喷雾 Spray	450 (水稻 Rice)
毒死蜱 Chlorpyrifos	350.59	1.3	$1.875 \times 10^{-5}$	喷雾 Spray	2 925 (花生 Peanut)
二嗪磷 Diazinon	304.3	60	$8.9775 \times 10^{-5}$	喷雾 Spray	2 499.75 (水稻 Rice)
抗蚜威 Pirimicarb	238.3	3 000	$3.225 \times 10^{-6}$	喷雾 Spray	225 (小麦 Wheat)
灭多威 Methomyl	162.2	55 000	$5.4 \times 10^{-6}$	喷雾 Spray	540 (棉花 Cotton)

表3 6种农药对鸟类的效应评估参数

Table 3 Effect assessment parameters of six pesticides

农药名称 Pesticide name	鸟类急性经口 $LD_{50}$ /( $mg \cdot kg^{-1} bw$ ) Avian acute oral $LD_{50}$ /( $mg \cdot kg^{-1} bw$ )	鸟类短期饲喂 $LC_{50}$ /( $mg \cdot kg^{-1} diet$ ) Avian short term $LC_{50}$ /( $mg \cdot kg^{-1} diet$ )	鸟类繁殖 NOEC /( $mg \cdot kg^{-1} diet$ ) Avian reproductive NOEC /( $mg \cdot kg^{-1} diet$ )	小鼠吸入 $LC_{50}$ /( $mg \cdot L^{-1}$ ) Mice inhalation $LC_{50}$ /( $mg \cdot L^{-1}$ )	小鼠经口 $LD_{50}$ /( $mg \cdot kg^{-1} bw$ ) Mice oral $LD_{50}$ /( $mg \cdot kg^{-1} bw$ )
乐果 Dimethoate	10.5	14.8	1.0	1.68	160
吡虫啉 Imidacloprid	31	/	20	>0.069	131
毒死蜱 Chlorpyrifos	25.4	71	2.88	0.10	64
二嗪磷 Diazinon	1.44	8	1.2	0.630	163
抗蚜威 Pirimicarb	12.1	394	81.8	0.9	150
灭多威 Methomyl	24.2	3 952	150	0.215	30

注:  $LC_{50}$  (lethal concentration 50) 表示在生物毒性试验中,使受试生物半数死亡的毒物浓度;  $LD_{50}$  (lethal dose 50) 表示在生物毒性试验中,使受试生物半数死亡的毒物剂量; NOEC (no observed effect concentration) 表示与对照组相比,供试物对受试生物在统计学上无显著负面影响的最高浓度。  
Note:  $LC_{50}$  (lethal concentration 50) means the concentration of toxic substance that causes half of the tested organisms to die in a biological toxicity test;  $LD_{50}$  (lethal dose 50) means the dose of toxic substance that causes half of the tested organisms to die in a biological toxicity test; NOEC (no observed effect concentration) indicates the highest concentration of the test substance that has no statistically significant negative effect on the tested organism compared with the control group.

表4 6种农药对鸟类的环境风险评估结果(经食途径)

Table 4 Avian environmental risk assessment results of six pesticides (dietary route)

农药名称 Pesticide name	风险类型 Types of risk	PED /(mg a.i.·kg <sup>-1</sup> bw·d <sup>-1</sup> )	PNED /(mg a.i.·kg <sup>-1</sup> bw·d <sup>-1</sup> )	RQ 值 RQ value	风险是否可接受 Acceptable or unacceptable
乐果 Dimethoate	初级急性风险 Primary acute risk	13.110	1.050	12.486	否 Unacceptable
	初级短期风险 Primary short-term risk	8.265	0.148	55.845	否 Unacceptable
	初级长期风险 Primary long-term risk	4.380	0.020	219	否 Unacceptable
吡虫啉 Imidacloprid	初级急性风险 Primary acute risk	10.764	3.100	3.472	否 Unacceptable
	初级短期风险 Primary short-term risk	4.914	/	/	/
	初级长期风险 Primary long-term risk	2.604	0.400	6.510	否 Unacceptable
毒死蜱 Chlorpyrifos	初级急性风险 Primary acute risk	69.967	2.540	27.546	否 Unacceptable
	初级短期风险 Primary short-term risk	31.941	0.710	44.987	否 Unacceptable
	初级长期风险 Primary long-term risk	16.929	0.058	292	否 Unacceptable
二嗪磷 Diazinon	初级急性风险 Primary acute risk	59.794	0.144	415	否 Unacceptable
	初级短期风险 Primary short-term risk	27.297	0.080	341	否 Unacceptable
	初级长期风险 Primary long-term risk	14.467	0.024	603	否 Unacceptable
抗蚜威 Pirimicarb	初级急性风险 Primary acute risk	5.382	1.210	4.448	否 Unacceptable
	初级短期风险 Primary short-term risk	2.457	3.940	0.624	是 Acceptable
	初级长期风险 Primary long-term risk	1.302	1.636	0.796	是 Acceptable
灭多威 Methomyl	初级急性风险 Primary acute risk	9.439	2.420	3.900	否 Unacceptable
	初级短期风险 Primary short-term risk	2.479	39.520	0.063	是 Acceptable
	初级长期风险 Primary long-term risk	1.314	3.000	0.438	是 Acceptable

注:PED(predicted exposure dose)表示在特定施药方式及环境场景条件下,通过数学模型预测的非靶标生物接触到的农药的剂量;PNED(predicted no effect dose)表示在现有认知条件下,农药对非靶标生物不会产生不良效应的最大剂量;RQ(risk quotient)为表征风险大小的参数,此处为PED与PNED的比值。

Note: PED (predicted exposure dose) means the dose of pesticides to nontarget organisms predicted by mathematical models under specific application methods and environmental scenarios; PNED (predicted no effect dose) indicates the maximum dose of pesticides that will not have adverse effects on nontarget organisms under the current cognitive conditions; RQ (risk quotient) is a risk characterization parameter, here refers to the ratio of PED and PNED.

表5 6种农药对鸟类的环境风险评估结果(饮水途径)

Table 5 Avian environmental risk assessment results of six pesticides (drinking water route)

农药名称 Pesticide name	风险类型 Types of risk	暴露量	校正毒性终点	RQ 值 RQ value	风险是否需关注 Of concern or not
		/(mg a.i.·kg <sup>-1</sup> bw·d <sup>-1</sup> ) Exposure rate /(mg a.i.·kg <sup>-1</sup> bw·d <sup>-1</sup> )	/(mg a.i.·kg <sup>-1</sup> bw·d <sup>-1</sup> ) Adjusted toxicity endpoints /(mg a.i.·kg <sup>-1</sup> bw·d <sup>-1</sup> )		
乐果 Dimethoate	急性风险 Acute risk	32 238	8.253	3 906	是 Of concern
	慢性风险 Chronic risk	32 238	0.012	2 686 500	是 Of concern
吡虫啉 Imidacloprid	急性风险 Acute risk	496.53	24.366	20.4	是 Of concern
	慢性风险 Chronic risk	496.53	0.233	2131	是 Of concern
毒死蜱 Chlorpyrifos	急性风险 Acute risk	1.053	19.718	0.053	否 Not of concern
	慢性风险 Chronic risk	1.053	0.034	30.9	是 Of concern
二嗪磷 Diazinon	急性风险 Acute risk	48.60	2.619	18.6	是 Of concern
	慢性风险 Chronic risk	48.60	0.014	3 471	是 Of concern
抗蚜威 Pirimicarb	急性风险 Acute risk	2 430	9.784	248	是 Of concern
	慢性风险 Chronic risk	2 430	0.952	2 552	是 Of concern
灭多威 Methomyl	急性风险 Acute risk	44 550	21.352	2 086	是 Of concern
	慢性风险 Chronic risk	44 550	1.746	25 515	是 Of concern

由表5可知,在所评估的6种农药中,只有毒死蜱通过饮水途径对鸟类的急性风险无需关注,其他农药品种通过饮水途径对鸟类的急、慢性风险均需关注。

由表6可知,6种农药中,吡虫啉、毒死蜱、二嗪磷和灭多威通过喷雾液滴吸入途径对鸟类产生的风险需要引起关注,乐果和抗蚜威通过喷雾液滴吸入途径对鸟类产生的风险无需关注;6种农药通过挥发相吸入途径对鸟类产生的风险均无需关注。

### 3 讨论 (Discussion)

6种农药对鸟类的环境风险评估结果表明,经食途径,乐果、毒死蜱和二嗪磷对鸟类的初级急性、短期和长期风险均不可接受;吡虫啉对鸟类的初级急性和长期风险不可接受;抗蚜威和灭多威对鸟类

的初级急性风险不可接受,对鸟类的初级短期和长期风险可接受。通过饮水途径,只有毒死蜱对鸟类的急性风险无需关注,其他农药品种对鸟类的急、慢性风险均需关注。吡虫啉、毒死蜱、二嗪磷和灭多威4种农药通过喷雾液滴吸入途径对鸟类产生的风险需要引起关注,乐果和抗蚜威通过喷雾液滴吸入途径对鸟类产生的风险无需关注;6种农药通过挥发相吸入途径对鸟类产生的风险均无需关注。因为评估的是6种农药以最大用量喷雾使用对鸟类的风险,因此,评估结果具有一定的保守性。但对于风险不可接受的情况,仍建议采取在不影响药效的情况下降低使用量、减少喷雾漂移等措施来降低风险。

可以看出,经食途径、饮水途径和吸入途径3种途径的评估存在较大的不同,尤其在暴露评估方面,经食途径的暴露评估以农药施用量和农药在鸟类食

表6 6种农药对鸟类的环境风险评估结果(吸入途径)

Table 6 Avian environmental risk assessment results of six pesticides (inhalation route)

农药名称 Pesticide name	风险类型 Types of risk	暴露量	校正毒性终点	RQ 值 RQ value	风险是否需关注 Of concern or not
		$/(mg\ a.i.\cdot kg^{-1}\ bw\cdot d^{-1})$	$/(mg\ a.i.\cdot kg^{-1}\ bw\cdot d^{-1})$		
		$/(mg\ a.i.\cdot kg^{-1}\ bw\cdot d^{-1})$	$/(mg\ a.i.\cdot kg^{-1}\ bw\cdot d^{-1})$		
乐果 Dimethoate	喷雾液滴吸入风险 Risk of spray droplet inhalation	1.057	63.38	0.0167	否 Not of concern
	挥发相吸入风险 Risk of vapor phase inhalation	0.0029	63.38	0.00005	否 Not of concern
吡虫啉 Imidacloprid	喷雾液滴吸入风险 Risk of spray droplet inhalation	0.6341	6.29	0.1008	是 Of concern
	挥发相吸入风险 Risk of vapor phase inhalation	0.00000001	6.29	0.000000002	否 Not of concern
毒死蜱 Chlorpyrifos	喷雾液滴吸入风险 Risk of spray droplet inhalation	4.1216	3.65	1.1292	是 Of concern
	挥发相吸入风险 Risk of vapor phase inhalation	0.0443	3.65	0.0121	否 Not of concern
二嗪磷 Diazinon	喷雾液滴吸入风险 Risk of spray droplet inhalation	3.5223	3.32	1.0609	是 Of concern
	挥发相吸入风险 Risk of vapor phase inhalation	0.1842	3.32	0.0555	否 Not of concern
抗蚜威 Pirimicarb	喷雾液滴吸入风险 Risk of spray droplet inhalation	0.3171	36.68	0.0086	否 Not of concern
	挥发相吸入风险 Risk of vapor phase inhalation	0.0052	36.68	0.0001	否 Not of concern
灭多威 Methomyl	喷雾液滴吸入风险 Risk of spray droplet inhalation	0.7609	3.51	0.2168	是 Of concern
	挥发相吸入风险 Risk of vapor phase inhalation	0.0059	3.51	0.0017	否 Not of concern

物上的残留量为主要计算参数, 饮水途径的暴露评估以农药在水中的最大溶解度为主要计算参数, 而吸入途径又包括挥发相吸入途径和喷雾液滴吸入途径2种, 挥发相吸入途径的暴露评估以农药的蒸气压为主要计算参数, 喷雾液滴吸入途径的暴露评估则取决于农药的施用量。毒死蜱通过饮水途径对鸟类产生的急性风险无需关注, 主要原因在于毒死蜱的水中溶解度较小, 只有  $1.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 6种农药通过挥发相吸入途径对鸟类产生的风险无需关注, 则因为6种农药的挥发性均不强。因此, 可以得出结论: 对于水中溶解度较大的农药品种, 需要对其通过饮水途径产生的风险进行评估; 而对于挥发性较强的农药品种, 则不能忽视其通过吸入途径产生的风险。需要指出的是, 目前我国颁布的《农药登记 环境风险评估指南 第3部分: 鸟类》(NY/T 2882.3—2016) 只规定了经食途径的暴露评估方法, 未考虑饮水、呼吸等其他暴露途径, 可能会低估了某些农药品种对鸟类的风险。今后一段时间需要对指南进行完善, 增加饮水、吸入等其他暴露途径的评估, 此外, 还需考虑多种暴露途径的综合评估。

**通讯作者简介:** 周军英(1966—), 女, 博士, 研究员, 主要研究方向为农药环境毒理学和农药生态风险评估。

#### 参考文献 (References):

- [1] 谭丽超, 程燕, 田丰, 等. 国外农药鸟类风险评价技术研究综述[J]. 污染防治技术, 2013(6): 39-44, 47  
Tan L C, Cheng Y, Tian F, et al. Review on the risk assessment techniques of pesticides for birds at abroad [J]. Pollution Control Technology, 2013(6): 39-44, 47 (in Chinese)
- [2] United States Environmental Protection Agency (US EPA). ECOFRAM terrestrial draft report [R]. Washington DC: US EPA, 1999
- [3] European Food Safety Authority (EFSA). Risk assessment for birds and mammals [J]. EFSA Journal, 2009, 7(12): 1438
- [4] 中华人民共和国农业部. 农药登记 环境风险评估指南 第3部分: 鸟类: NY/T 2882.3—2016[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016
- [5] Nagy K A, Peterson C C. Scaling of Water Flux Rate in Animals [M]. Berkeley: University of California Press, 1988: 9
- [6] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Environmental fate and effects division (EFED). User's guide screening imbibition program (SIP) version 1.0 [R]. Washington DC: US EPA, 2010
- [7] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Environmental fate and effects division (EFED). STIR User's guide version 1.0 screening tool for inhalation risk [R]. Washington DC: US EPA, 2010
- [8] European Food Safety Authority (EFSA). Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance dimethoate [J]. EFSA Journal, 2006, 4(7): 84r
- [9] European Food Safety Authority (EFSA). Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance imidacloprid [J]. EFSA Journal, 2008, 6(7): 148r
- [10] European Food Safety Authority (EFSA). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance chlorpyrifos [J]. EFSA Journal, 2011, 9(1): 1961
- [11] U.S. Department of Agriculture. PPDB: Pesticide properties database. Chlorpyrifos [DB/OL]. (2019-11-14) [2020-02-01]. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/154.htm>
- [12] European Food Safety Authority (EFSA). Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance diazinon [R]. Parma: EFSA, 2006
- [13] European Food Safety Authority (EFSA). Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance pirimicarb [R]. Parma: EFSA, 2005
- [14] European Food Safety Authority (EFSA). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance methomyl [R]. Parma: EFSA, 2008
- [15] 中华人民共和国农业农村部农药检定所. 中国农药信息网 农药登记数据[DB/OL]. [2020-02-07]. <http://www.chinapesticide.org.cn/fw/index.jhtml> ◆