

◆ 残留与环境 ◆

# 多菌灵在我国小麦和水稻上的环境风险评估研究

张月秋,袁野,邢立国,贾新茹

(沈阳沈化院测试技术有限公司安全评价中心,沈阳 110021)

**摘要:**按照《农药登记环境风险评估指南》要求,对多菌灵防治小麦赤霉病和水稻纹枯病引起的陆生生态系统、地下水和水生生态系统风险分别进行评估。结果发现,在陆生生态系统中,多菌灵对鸟类的长期风险、家蚕饲喂外围桑树叶的风险、农田内捕食性非靶标节肢动物的风险不可接受,对地下水风险可接受。因此,可通过适当的风险降低措施保证多菌灵在小麦上使用的安全性。在水生生态系统中,多菌灵制剂在水稻上施用后,对于初级急性和慢性风险而言,多菌灵对脊椎动物和无脊椎动物的风险组分占模拟组的100%,多菌灵对初级生产者的风险组分占模拟组的6.90%,多菌灵对水生生态系统具有较高风险。因此,应在再评价过程中重新审视多菌灵在水稻上的登记情况。

**关键词:**多菌灵;陆生生态系统;地下水;水生生态系统;环境风险评估

中图分类号:TQ 450.2<sup>+6</sup> 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2024.06.011

## Study on environmental risk assessment of carbendazim on wheat and rice in China

ZHANG Yueqiu, YUAN Ye, XING Liguo, JIA Xinru

(Safety Evaluation Centre, Shenyang SYRICI Testing Co., Ltd., Shenyang 110021, China)

**Abstract:** According to the requirements of “Guidance on Environmental Risk Assessment for Pesticide Registration”, the risks of carbendazim to terrestrial ecosystems, groundwater and aquatic ecosystems in the control of scab of wheat and sheath blight of rice were assessed, respectively. The results showed that the long-term risk of carbendazim to birds, the risk of peripheral mulberry leaves to silkworm and predatory non-target arthropods in farmland were unacceptable in terrestrial ecosystem, and there was no risk to groundwater. Therefore, some appropriate risk reduction measures could be taken to ensure the safety of carbendazim in wheat. After carbendazim was applied on rice, the risk components to vertebrates and invertebrates accounted for 100% of the simulation group, and the risk component of carbendazim to primary producers accounted for 6.90% of the simulation group, respectively. Carbendazim had high risk to aquatic ecosystem. Therefore, the registration of carbendazim on rice should be reexamined in the process of reevaluation.

**Key words:** carbendazim; terrestrial ecosystem; groundwater; aquatic ecosystem; environmental risk assessment

多菌灵属苯并咪唑类化合物,化学名称为N-(2-苯并咪唑基)-氨基甲酸甲酯,相对分子质量为191.2。其不溶于水,微溶于丙酮、氯仿和其他有机溶剂,可溶于无机酸及乙酸,并形成相应的盐。多菌灵化学性质较稳定,是一种高效、低毒、内吸性广谱杀菌剂。其通过干扰菌体有丝分裂中纺锤体的形成,从而影响细胞分裂,具有保护和治疗的双重作用<sup>[1]</sup>。由于多菌灵制剂杀菌效果明显,持效期长,使用成本

低,深受广大农民欢迎,且合成方法多样,目前已成为我国产量最大的内吸性杀菌剂品种之一。近年来,多菌灵的登记注册量也呈明显的上升趋势。查询“中国农药信息网”,截至2024年1月,已有278家企业在国内登记了多菌灵单剂,302家企业相继登记了多菌灵复配剂。

据报道,多菌灵对小麦赤霉病和水稻纹枯病的防治效果良好,但其单剂和混剂的大量使用在提高

收稿日期:2024-03-23

作者简介:张月秋,女,工程师,研究方向为农药和化学品环境风险评估。E-mail:zhangyueqiu@sinochem.com

作物产量的同时,也给陆生环境和水生环境带来很大的风险<sup>[2-4]</sup>。一般情况下,农药经喷雾方式在田间使用后只有一小部分被作物利用,大部分都残留在环境中,从而对农田中觅食的鸟类、哺乳类、爬行类和两栖类动物等产生暴露风险<sup>[5-6]</sup>。谭丽超等<sup>[7]</sup>发现,在美国,农药的使用对社会和环境产生了巨大的危害损失,其中,农药对鸟类产生的危害损失在陆生生物中占比最大。在稻田中施药时,一部分残留的多菌灵随地表径流进入河流或湖泊,一部分通过淋溶进入地下水,从而给水生生态系统带来不同程度的污染。研究表明,多菌灵对斑马鱼的安全质量浓度为0.76 mg/L,其毒性为中等毒<sup>[8]</sup>。Dafponsk-Arojy<sup>[9]</sup>研究发现,多菌灵对藻类的生长具有明显的抑制作用。2007年,美国撤销了多菌灵在食用农产品上的登记,我国及欧盟多个国家(地区)尚允许使用该农药。由于多菌灵在环境安全方面存在较高的风险,我国已于2016年对该农药启动了安全预警和再评价研究。

农药环境风险评估在农药登记管理和环境安全等方面发挥着重要作用<sup>[10]</sup>。欧美等发达国家,为了有效评价农药的使用对环境造成的影响,已于20世纪90年代发布了一系列的评估指南,并将农药环境风险评估结果作为农药能否登记的重要评判标准<sup>[11]</sup>。我国是农药生产、进出口和使用大国,但农药环境风险评估起步相对较晚。据统计,我国农药平均施用量为13.5 kg/hm<sup>2</sup>,全国约有0.067亿hm<sup>2</sup>耕地遭受不同程度的农药污染<sup>[12]</sup>。因此,我国的农药管理亟需从“关注药效”向“关注风险”转变。为加强对农药风险的管理,满足农药登记需求,农业农村部于2016年发布了《农药登记环境风险评估指南》,为评估农药对水生生态系统、鸟类、蜜蜂、家蚕、地下水和非靶标节肢动物的影响提供了依据。2017年完善了农药对土壤生物的风险评估流程。2023年实施了混配制剂对水生生态系统的风险评估导则。至此,我国农药风险评估技术体系逐渐建立。通过对农药风险的预测,可以衡量新农药登记使用的安全性;同时通过再评价,淘汰已登记农药中风险较高的物质,从而保障农药科学合理的使用。

本文按照《农药登记环境风险评估指南》第1部分至第8部分的要求和方法,综合评估了多菌灵制剂目前登记使用剂量和方法对生态环境的影响。通过对多菌灵制剂防治小麦赤霉病和水稻纹枯病引起的环境风险进行评估,分别探究了多菌灵制剂在

旱田作物和水田作物中使用产生的影响。在旱田作物中,主要评估多菌灵制剂的使用对陆生生态系统(鸟类、蜜蜂、家蚕、非靶标节肢动物、土壤生物)和地下水的风险,确保该农药的使用不对陆生生物产生危害,同时确保人类直接饮用施用农药区域的地下水时不应存在不利影响。在水田作物中,主要评估多菌灵制剂的使用对水生生态系统的影响,确保农药的使用不对水生生态系统中脊椎动物、无脊椎动物和初级生产者产生不可接受的风险。

## 1 材料与方法

### 1.1 农药环境风险评估程序

农药环境风险评估的一般程序包括问题阐述、暴露分析、效应分析和风险表征4个过程。首先,通过问题阐述对风险问题进行详细说明,进而确定风险评估终点。其次,通过环境暴露模型研究农药在生态环境中的时空分布规律,并进行农药暴露浓度预测(PEC)。同时通过选取合适的生态毒理学毒性终点和不确定性因子进行效应分析,利用二者的比值研究农药对不同代表性生物产生的不良效应(PNEC),如急性毒性、短期毒性和慢性毒性等。最后,通过风险商值(预测环境浓度/预测无效应浓度,以RQ表示)综合判断农药是否对目标生物产生不可接受的风险,当RQ大于1,显示风险不可接受。农药环境风险评估主要采用分级评估法,在现有认知水平和技术措施下,先以保守假设和简单模型为基础开展低层次评估。当初级风险评估结果显示风险不可接受时,再采用更实际的数据和复杂模型过渡到更高层次的评估<sup>[13]</sup>。本文主要对多菌灵防治小麦赤霉病和水稻纹枯病所引起的环境风险进行初级评估。

多菌灵常见剂型有可湿性粉剂和悬浮剂。其中,悬浮剂的粒径更小,具有更好的分散性、附着性和渗透性。此外,悬浮剂在水中形成悬浮液的悬浮率较高,其环境风险评估结果更具代表性。因此,产品剂型选择悬浮剂。查询中国农药信息网,对在小麦和水稻上登记的多菌灵悬浮剂进行整理。登记作物为小麦时,40%多菌灵悬浮剂登记应用较多。登记作物为水稻时,40%多菌灵悬浮剂和500 g/L多菌灵悬浮剂登记应用较多。结合登记情况和总有效成分含量,确定在不同作物上使用的农药剂型、推荐使用量、施药期、施药方式等信息,其良好农业规范(GAP)信息见表1。

表1 多菌灵制剂在小麦和水稻上的GAP信息

| 产品剂型          | 登记作物 | 防治对象 | 施药方法 | 有效成分用量/(g/hm <sup>2</sup> ) | 施药时间    | 施药次数/次 | 施药间隔/d |
|---------------|------|------|------|-----------------------------|---------|--------|--------|
| 40%多菌灵悬浮剂     | 小麦   | 赤霉病  | 喷雾   | 750                         | 齐穗期至始花期 | 2      | 7      |
| 500 g/L多菌灵悬浮剂 | 水稻   | 纹枯病  | 喷雾   | 1 050                       | 纹枯病发病初期 | 2      | 7      |

## 1.2 暴露模型

### 1.2.1 陆生生物暴露模型及输入参数

根据《农药登记 环境风险评估指南》，多菌灵对鸟类、蜜蜂、家蚕和非靶标节肢动物的暴露量根据指南(NY/T 2882.1~7—2016)中的公式进行计算；土壤中的农药暴露量通过PEC soil-SFO China模型输出(NY/T 2882.8—2017)。

土壤暴露模型输入参数如下：土层深度0.05 m；土壤密度1 500 kg/m<sup>3</sup>；土壤好氧半衰期33.76 d；施用次数2次；防治作物谷物；施用剂量750 g/hm<sup>2</sup>(有效成分用量)；施药时期(生长阶段)，多菌灵防治小麦赤霉病施药期为齐穗期至始花期，在模型里对应BBCH40-89。

### 1.2.2 地下水暴露模型及输入参数

China-PEARL模型是由我国农药检定所与荷兰瓦赫宁根大学阿尔特拉研究所(Alterra)在对欧盟

现有农药暴露评估模型进行比较研究的基础上，选择PEARL模型进行2次开发得到，目前已广泛应用于我国农药登记前的地下水环境风险评估。China-PEARL模型是一个数学模型，可以模拟不同的农药施药方式，如叶面喷雾、土壤表面喷雾、土壤处理、土壤注射等，进而预测中国北方旱田地下水场景中农药淋溶至地下水的浓度<sup>[14]</sup>。我国地域广阔、气候多样、土壤类型复杂，根据这些差异对农药环境风险评估的影响，China-PEARL模型将中国划分为6个场景区。其中，在北方旱田场景区，选取乌鲁木齐、同心、武功、潍坊、商丘和新民作为地下水场景点。

本文利用China-PEARL模型评估40%多菌灵悬浮剂防治小麦赤霉病引起的地下水暴露情况，模型的输入数据包括多菌灵的理化性质、环境行为和施药信息。信息通过查询EFSA报告获得，结果见表2<sup>[15]</sup>。

表2 China-PEARL模型中所需的多菌灵数据及模型最终输入值<sup>[15]</sup>

| 输入项目                            | 查询数据                     | 模型最终输入数据           |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 相对分子质量                          | 191.21                   | 191.21             |
| 蒸气压(20℃), Pa                    | 9×10 <sup>-5</sup>       | 9×10 <sup>-5</sup> |
| 水中溶解度(20℃), mg/L                | 29(pH 4)、8(pH 7)、7(pH 8) | 14.67(算术平均值)       |
| 吸附常数K <sub>ad</sub> (20℃), L/kg | 116.01、142.69、133.41     | 130.22(几何平均值)      |
| Freundlich吸附指数(1/n)             | 0.87、1.12、0.91           | 0.97(算术平均值)        |
| 土壤好氧半衰期(20℃/pF2), d             | 37、40、26                 | 33.76(几何平均值)       |
| 施用方式                            | 喷雾                       | 喷雾                 |
| 施药时间                            | 齐穗期至始花期                  | BBCH40-89          |
| 有效成分用量, g/hm <sup>2</sup>       | 750                      | 750                |
| 施药次数, 次                         | 2                        | 2                  |
| 施药间隔, d                         | 7                        | 7                  |

### 1.2.3 地表水暴露模型及输入参数

TOP-rice模型(TOXSWA+Paddy-PEARL)是中国南方水稻田地表水、地下水暴露模型，可以通过计算机模拟，预测农药淋溶至地下水以及通过地表漫溢径流注入天然池塘后2种水体中该农药的暴露浓度。TOP-rice模型由TOXSWA和Paddy-PEARL模型组成，TOXSWA模型是一个伪二维模型，描述了农田边界区域范围内农药在地表水及其底层沉积物中的环境行为。该模型里，在长江流域场景区

和华南场景区建立了南昌和连平2个水稻田地表水场景点<sup>[16]</sup>。

本文利用TOP-rice模型评估500 g/L多菌灵悬浮剂防治水稻纹枯病引起的水生生态系统暴露情况，模型的输入数据包括多菌灵的理化性质、环境行为和施药信息，其中理化性质和环境行为数据同表2。多菌灵防治水稻纹枯病的施药期为发病初期，经查阅资料，水稻纹枯病主要在分蘖期发病，因此施药期选择水稻分蘖期，在模型里为BBCH20-29，其他

施药信息同表1。

## 2 结果与分析

### 2.1 多菌灵对陆生生态系统的风险评估

#### 2.1.1 多菌灵对鸟类的风险评估

按照《农药登记 环境风险评估导则 第3部分:鸟类》进行急性、短期和长期暴露剂量预测。计算结果显示,多菌灵的急性、短期和长期预测暴露剂量(PED)分别为25.12、13.10及6.95 mg/kg。

通过查询EFSA报告,收集到多菌灵对鸟类的急性、慢性和长期毒性效应数据(EnP),根据相应的不确定因子(UF),进行效应分析获得预测无效应剂量(PNED)。结果显示,急性经口、短期饲喂和繁殖PNED分别为276.75、61.50和5.28 mg/kg。

根据暴露分析获得的PED和PNED,计算多菌灵对鸟类的风险商值(RQ),结果见表3。结果显示,多菌灵对鸟类的急性、短期和长期RQ分别为0.09、0.21和1.32。由此说明,按照在小麦上的登记使用剂量和使用方法,多菌灵对鸟类的急性和短期风险可接受,对鸟类的长期风险不可接受。

表3 多菌灵对鸟类的风险表征结果

| 评估对象 | 风险表征 | PED/(mg/kg) | PNED/(mg/kg) | RQ   |
|------|------|-------------|--------------|------|
| 多菌灵  | 急性   | 25.12       | 276.75       | 0.09 |
|      | 短期   | 13.10       | 61.50        | 0.21 |
|      | 长期   | 6.95        | 5.28         | 1.32 |

#### 2.1.2 多菌灵对蜜蜂的风险评估

喷施场景下,蜜蜂风险评估参数如下:急性经口毒性LD<sub>50</sub>为200 μg/蜂,急性接触毒性LD<sub>50</sub>为50 μg/蜂,有效成分用量为750 g/hm<sup>2</sup>,系数为50。按照多菌灵在小麦上使用的GAP信息,喷雾施药后,多菌灵对蜜蜂的RQ<sub>sp</sub>为0.3(选择毒性较高的毒性终点进行评估)。结果显示,多菌灵对蜜蜂的风险可接受。

#### 2.1.3 多菌灵对家蚕的风险评估

按照相关导则进行家蚕的暴露分析,在飘移场景下,最外围桑树上的预测暴露浓度(PEC<sub>sa-fr</sub>)和次外围桑树上的预测暴露浓度(PEC<sub>sa-sr</sub>)分别为105.3和6.4 mg/kg。

通过查询已有研究,获得多菌灵原药对家蚕的毒性数据LC<sub>50</sub>(96 h)为585.553 mg/kg。根据导则选取适当的不确定因子,进行家蚕的效应分析,获得预测无效应浓度(PNEC)。结果显示,多菌灵原药对家蚕的PNEC为8.37 mg/kg。

根据暴露分析获得的PEC和PNEC,计算多菌灵

对家蚕的风险商值(RQ)。结果显示,按GAP施用于小麦后,最外围桑树的RQ<sub>fr</sub>与次外围桑树的RQ<sub>sr</sub>分别为12.58与0.77。基于该结果,间隔1 d后采摘桑叶,多菌灵对最外围桑树叶片的风险不可接受,次外围桑树叶片的风险可接受。

#### 2.1.4 多菌灵对非靶标节肢动物的风险评估

根据《农药登记 环境风险评估 第7部分:非靶标节肢动物》进行暴露分析,在农田内、外2种暴露场景下,计算农田内预测暴露量(PER<sub>in</sub>)和农田外预测暴露量(PER<sub>off</sub>)。计算结果显示,多菌灵的PER<sub>in</sub>和PER<sub>off</sub>分别为1 211.7 g/hm<sup>2</sup>和5.8 g/hm<sup>2</sup>。

通过查询EFSA报告,获得多菌灵制剂对非靶标节肢动物的毒性数据。采用多菌灵制剂对寄生性天敌赤眼蜂(*Trichogramma ostriniae*)的毒性数据(LR<sub>50</sub>)3 000 g/hm<sup>2</sup>,对捕食性天敌瓢虫(*Coccinella septempunctata*)的毒性数据(LR<sub>50</sub>)30 g/hm<sup>2</sup>进行效应分析。

根据暴露分析获得的农田内外暴露量和效应分析获得的毒性数据进行风险表征,其风险商值见表4。结果显示,多菌灵对寄生性天敌与捕食性天敌的农田内危害商值(HQ<sub>in</sub>)分别为0.40与40.39,农田外危害商值(HQ<sub>off</sub>)分别为0.01和0.96。由此可见,按照GAP在小麦上施用后,多菌灵制剂对农田内、外寄生性天敌和农田外捕食性天敌的风险可接受,对农田内的捕食性天敌风险不可接受。

表4 非靶标节肢动物风险计算参数及结果

| 项目                                     | 参数及结果                |
|--|----------------------|
| DT <sub>50</sub> , d                   | 10                   |
| AR, g/hm <sup>2</sup>                  | 750                  |
| MAF                                    | 1.161                |
| 作物距离, m                                | 1                    |
| 飘移因子(PDF)                              | 0.023 8              |
| VDF                                    | 5                    |
| PER <sub>in</sub> , g/hm <sup>2</sup>  | 1 211.7              |
| PER <sub>off</sub> , g/hm <sup>2</sup> | 5.8                  |
| LR <sub>50</sub> , g/hm <sup>2</sup>   | 3 000(寄生性)、30(捕食性)   |
| HQ <sub>in</sub>                       | 0.40(寄生性)、40.39(捕食性) |
| HQ <sub>off</sub>                      | 0.01(寄生性)、0.96(捕食性)  |

注:DT<sub>50</sub>取默认值10 d;小麦用药2次,作物距离取1 m,农药飘移因子PDF取0.023 8。

#### 2.1.5 多菌灵对土壤生物的风险评估

按照GAP喷雾施药后,利用PEC soil-SFO China模型对土壤中多菌灵浓度进行了初级急性暴露分析。结果显示,土壤中多菌灵质量分数峰值(PEC<sub>max</sub>)为0.373 2 mg/kg。

通过查询EFSA报告,发现多菌灵对蚯蚓的急性LC<sub>50</sub>为5.4 mg/kg(土壤),不确定因子UF取10,得到初级急性PNEC为0.54 mg/kg(土壤)。土壤经多菌灵4.8 mg/kg(土壤)染毒后,土壤微生物氮转化抑制率<25%。以4.8 mg/kg(土壤)作为EC<sub>25</sub>进行初级急性评估,代表更保守的预测情况,不确定因子UF取1,得到初级急性PNEC为4.8 mg/kg(土壤)。

根据计算结果,多菌灵对土壤中蚯蚓急性、土壤微生物的RQ分别为0.69、0.08,均小于1,风险可接受。

## 2.2 多菌灵对旱田地下水的风险评估

### 2.2.1 暴露分析

本次评估场景包括河南商丘冬小麦、山东潍坊冬小麦、陕西武功冬小麦、宁夏同心春小麦、新疆乌鲁木齐春小麦和辽宁新民春小麦。冬小麦和春小麦的施药日期分别选取3—5月和5—7月。根据模型运算结果,在所选时间点,地下水中多菌灵的最大预测暴露浓度分别为商丘0.217 557 μg/L、潍坊1.267 657 μg/L、武功0.024 217 μg/L、同心0.052 527 μg/L、乌鲁木齐0.334 822 μg/L、新民0.156 548 μg/L。

### 2.2.2 效应分析

EFSA报告中多菌灵的每日允许摄入量(ADD)为0.02 mg/kg,计算得到PNEC为0.126 mg/L。

### 2.2.3 风险表征

选择每个场景点的最大PEC用于风险商值计算,结果显示,多菌灵对地下水的风险商值(RQ)均小于1,见表5。根据以上结果可知,多菌灵产品对旱田地下水的风险可接受。

表5 多菌灵对地下水的风险表征

| 场景点  | 作物  | PEC <sub>max</sub> /(μg/L) | PNEC/(μg/L) | RQ        |
|------|-----|----------------------------|-------------|-----------|
| 商丘   | 冬小麦 | 0.217 557                  |             | 0.001 727 |
| 潍坊   | 冬小麦 | 1.267 657                  |             | 0.010 061 |
| 武功   | 冬小麦 | 0.024 217                  |             | 0.000 192 |
| 同心   | 春小麦 | 0.052 527                  | 126         | 0.000 417 |
| 乌鲁木齐 | 春小麦 | 0.334 822                  |             | 0.002 657 |
| 新民   | 春小麦 | 0.156 548                  |             | 0.001 242 |

## 2.3 多菌灵对水生生态系统的风险评估

### 2.3.1 初级暴露分析

首先采用TOP-rice模型对多菌灵有效成分在稻田水生生态系统进行初级暴露分析。南昌和连平场景点首次施药时间在分蘖期,即连平早稻为4月20日至5月10日,连平晚稻为7月22日至8月13日,南昌早稻为4月28日至5月17日,南昌晚稻为7月17日至8月8日。通过模型计算得到2种不同场景下的多菌灵

峰值和时间加权平均环境暴露浓度,本文选取峰值作为预测环境浓度。

结果显示,在不同的场景下,连平早稻具有最高的暴露浓度,达到995.50 μg/L。因此,选取该暴露浓度作为预测环境浓度(PEC),进而用于下一步的初级效应分析和风险表征。

### 2.3.2 效应分析

通过查阅EFSA报告,获得多菌灵的生态毒理数据(EnP),根据相应的不确定因子(UF),计算PNEC,毒性终点和不确定因子的取值按照相关导则要求。结果显示,脊椎动物急性、脊椎动物慢性、无脊椎动物急性、无脊椎动物慢性、初级生产者慢性毒性PNEC分别为0.6、0.32、1.5、0.15和1 100 μg/L。

### 2.3.3 风险表征

根据暴露分析获得的PEC和效应分析获得的PNEC,计算多菌灵对水生生物的风险商值(RQ),结果见表6。结果显示,当以不同场景中最大暴露浓度作为预测环境浓度时,多菌灵对脊椎动物的急性风险和慢性风险、无脊椎动物的急性风险和慢性风险商值远大于1,对初级生产者的慢性风险商值接近1。因此,经初级风险评估可知,500 g/L多菌灵悬浮剂对水生生态系统的风险不可接受。

表6 多菌灵对水生生态系统的风险评估

| 类型       | PEC <sub>max</sub> /(μg/L) | PNEC/(μg/L) | RQ       | 评估结果 |
|----------|----------------------------|-------------|----------|------|
| 脊椎动物-急性  | 995.50                     | 0.60        | 1 659.17 | 不可接受 |
| 脊椎动物-慢性  | 995.50                     | 0.32        | 3 110.95 | 不可接受 |
| 无脊椎动物-急性 | 995.50                     | 1.50        | 663.67   | 不可接受 |
| 无脊椎动物-慢性 | 995.50                     | 0.15        | 6 636.68 | 不可接受 |
| 初级生产者-慢性 | 995.50                     | 1 100.00    | 1.29     | 不可接受 |

## 3 讨论

通过探究多菌灵对旱田陆生生态系统、地下水和水田水生生态系统的风险,可以全面了解多菌灵的使用对环境安全造成的影响。通过研究发现,多菌灵对鸟类长期风险、家蚕饲喂最外围桑树叶片、农田内捕食性天敌风险不可接受;对水生生态系统风险不可接受。

在陆生生态系统中,多菌灵对鸟类的长期风险商值与1较接近,因此,可通过一定的风险控制措施进行降低。如鸟类保护区附近禁用等,该措施方便可行,国内应用较为广泛;也可通过遥感监测技术,获得更实际的鸟类每日饮食比例(PT)并进行高级风险评估<sup>[17-18]</sup>。然而遥感监测技术需要大量的时间

成本和经济成本,目前在国内应用较少。对于保护目标家蚕,在实践中,农户常把最外围桑树作为隔离带进行保护,减少对次外围及内围桑树的影响。对于保护目标农田内非靶标节肢动物,其风险商值超过安全商值的40倍,该风险较高,需引起广泛关注,并应在使用标签中注明“在七星瓢虫等捕食性天敌放飞区域禁用”。

在水生生态系统中,500 g/L多菌灵悬浮剂按照GAP在水稻上施用后,初级风险评估结果显示,其对无脊椎动物和脊椎动物的急性和慢性风险不可接受。因在暴露分析中采用的是所有施药场景中最大的环境暴露浓度,可能会增加风险评估的不确定性。因此,本文进一步讨论了不同场景(连平早稻、连平晚稻、南昌早稻和南昌晚稻),不同药后天数的风险情况(图1)。研究发现,对于初级慢性风险而言,在所有场景中,多菌灵对初级生产者的风险组分和无风险组分分别占模拟组分的6.90%和93.1%。从整体而言,多菌灵对初级生产者的慢性风险可忽略。然而,多菌灵对脊椎动物和无脊椎动物的急性和慢性风险组分都占总模拟组分的100%,其中,多菌灵对无脊椎动物的慢性风险在连平早稻场景中最高,其风险商值范围为2 535~6 637。由此可见,多菌灵的使用对水生生态系统造成了不容忽视的危害。需要注意的是,利用TOP-rice模型对多菌灵在南昌、连平2个场景上进行早稻和晚稻的模拟,也存在一定的不确定性。其初级风险不通过时,应优化模型并采用田间数据进行高级风险评估,但由于未获得多菌灵的中宇宙数据,无法进一步优化,故模型输出结果可能与实际情况存在一定的差异。但多菌灵对水生生物的毒害作用已在很多研究中得以体现,如Cuppen等<sup>[19]</sup>研究了多菌灵对淡水生物的影响,在所有淡水生物中,多菌灵对大型无脊椎动物群落影响较大,如导致寡毛类、涡虫类、水蛭类和一些甲壳类种群大量减少。Brink等<sup>[20]</sup>研究了长期使用多菌灵对浮游动物和初级生产者的影响,结果显示,高处理水平下的多菌灵( $NOEC=33 \mu\text{g}/\text{L}$ )对浮游动物群落产生显著的负面影响。多菌灵的使用不仅对水生生物造成影响,残留在鱼类等生物体内的多菌灵,最终将通过食物链的传递,对人体健康产生一定的潜在危害。

然而,截至2024年1月,仍有大量的多菌灵单剂和混剂在我国水稻上获得登记许可。其中,140家企业获得多菌灵单剂的登记许可,74家企业获得多菌灵复配剂在水稻上的登记许可,其最长有效期至

2029年。基于多菌灵对水生生态系统的较高风险,建议相关管理部门应严格把控再评价过程,必要时应禁止多菌灵在水稻上的应用。

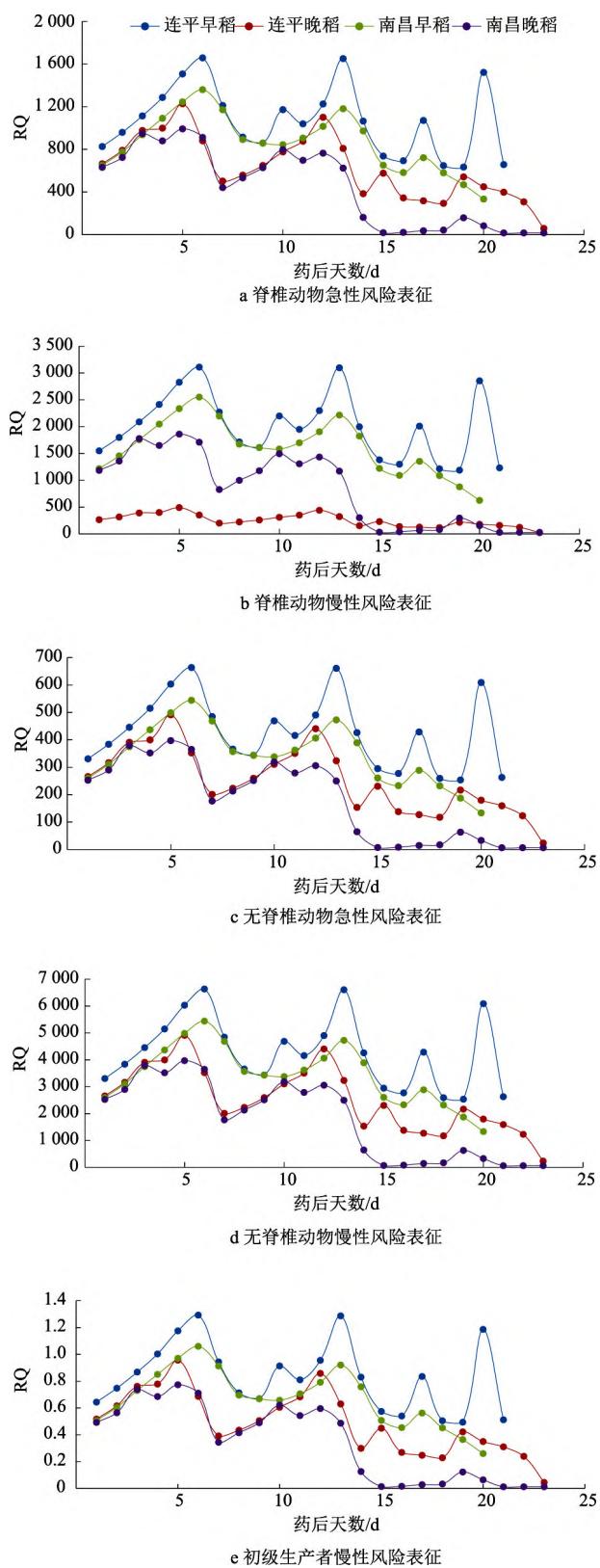


图1 多菌灵不同施药场景下的风险表征

## 4 结论

通过研究多菌灵防治小麦赤霉病和水稻纹枯病的风险评估结果,得出如下结论。

(1) 在陆生生态系统中,多菌灵按照在小麦上的GAP施用后,对鸟类的长期风险、家蚕饲喂外围桑树叶、农田内捕食性非靶标节肢动物的风险不可接受,应采取一定的风险降低措施,使风险可控。

(2) 根据China-PEARL模型输出结果,在商丘、潍坊、武功、同心、乌鲁木齐和新民施用多菌灵制剂后,预测暴露浓度分别为 $0.217\text{ }557\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $1.267\text{ }657\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $0.024\text{ }217\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $0.052\text{ }527\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $0.334\text{ }822\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $0.156\text{ }548\text{ }\mu\text{g/L}$ ,不同场景下的风险商值均小于1。多菌灵对旱田地下水的风险可接受。

(3) 多菌灵制剂在水稻上施用后,对于初级急性和慢性风险而言,多菌灵对脊椎动物和无脊椎动物的风险组分分别占模拟组的100%,多菌灵对初级生产者的风险组分占模拟组的6.90%。多菌灵对水生生态系统具有较高风险。

## 参考文献

- [1] 魏中华,徐娟,郭明霞,等.国内多菌灵的研究进展[J].安徽农业科学,2015,43(3): 125-127; 141.
- [2] 刁春友,徐炜枫,沈娟,等.麦穗期不同施药方式下多菌灵残留超标风险研究[J].现代农药,2015,14(6): 41-43.
- [3] 王建秀,孙慧琳,赵彦翔,等.山东省小麦赤霉病菌对多菌灵抗药性监测与敏感性测定[J].青岛农业大学学报(自然科学版),2020,37(2): 79-83.
- [4] 韩玉,崔凡,王伟,等.农废热解液与多菌灵混配对水稻纹枯病的协同防病作用[J].延边大学农学学报,2018,40(1): 21-26.
- [5] 郎漫,李平,蔡祖聪.多菌灵在土壤中的降解及其生态环境效应[J].农药,2012,51(1): 8-10; 34.
- [6] 商贺阳,董三倩,邵振芳,等.在花生上登记的农药对鸟类和蜜蜂的初级风险评估[J].现代农药,2018,17(6): 6-10.
- [7] 谭丽超,程燕,周军英,等.农药对陆生生物的生态风险评估研究进展[J].农药,2020,59(5): 322-327.
- [8] 熊昭娣,周梦颖,高翔,等.多菌灵杀菌剂对青海弧菌和斑马鱼的急性毒性研究[J].安徽农业科学,2017,45(33): 111-113.
- [9] DAFPONSK-AROJY D. Health risk assessment of pesticide residues via dietary intake of cowpea and bambara beans among adults in Accra Metropolis, Ghana[J]. Research Journal of Chemistry and Environment Science, 2015, 3(1): 10-18.
- [10] 中华人民共和国农业部.农药登记环境风险评估指南 第1部分 总则: NY/T 2882.1—2016[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [11] 顾宝根,程燕,周军英,等.美国农药生态风险评价技术[J].农药学报,2009,11(3): 283-290.
- [12] 郭珍.石油农业、污水灌溉与耕地污染防治[J].南通大学学报(社会科学版),2016,32(5): 111-116.
- [13] 陶传江.我国农药风险评估技术发展与风险管理[J].农药科学与管理,2019,40(2): 16-19.
- [14] 耿岳,马婧,MECHTELD H,等.China-PEARL模型操作界面使用手册[R].北京:农业部农药检定所,2010: 8-10.
- [15] EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance carbendazim[J]. EFSA Journal, 2010, 8(5): 1598.
- [16] 农业部农药检定所.TOP-rice模型操作手册[R].北京:农业部农药检定所,2014: 2-6.
- [17] LUDWIGS J D, EBELING M, FREDRICKS T B, et al. Appropriate exposure estimates for wildlife risk assessments of crop protection products based on continuous radio telemetry—a case study with woodpigeons[J]. Environmental Toxicology & Chemistry, 2016, 36(5): 1270.
- [18] BROOKS A C, FRYER M, LAWRENCE A, et al. Reflections on bird and mammal risk assessment for plant protection products in the European Union: past, present, and future[J]. Environmental Toxicology & Chemistry, 2017, 36(3): 565-575.
- [19] CUPPEN J G M, BRINK P J V D, CAMPS E, et al. Impact of the fungicide carbendazim in freshwater microcosms. I. water quality, breakdown of particulate organic matter and responses of macroinvertebrates[J]. Aquatic Toxicology, 2000, 48(2/3): 233-250.
- [20] BRINK P J V D, HATTINK J, BRANSEN F, et al. Impact of the fungicide carbendazim in freshwater microcosms. II. zooplankton, primary producers and final conclusions[J]. Aquatic Toxicology, 2000, 48(2/3): 251-264.

(编辑:顾林玲)

(上接第 62 页)

- Express, 2022, 12(1): 44.
- [26] 李志清,凌晓光,庞立飞,等.2,4-D高效降解菌的筛选及其降解特性[J].广东化工,2021,48(8): 50-53.
- [27] 任晓洁,贺壮壮,单昕,等.百菌清降解菌的分离鉴定及功能基因分析[J].农业工程学报,2020,36(19): 209-216.
- [28] IMPERATO V, PORTILLO-ESTRADA M, MCAMMOND B M, et al. Genomic diversity of two hydrocarbon-degrading and plant growth-promoting *Pseudomonas* species isolated from the oil field of Bobrka (Poland)[J]. Genes, 2019, 10(6): 1-22.

- [29] ZHANG R, CUI Z, ZHANG X, et al. Cloning of the organophosphorus pesticide hydrolase gene clusters of seven degradative *Bacteria* isolated from a methyl parathion contaminated site and evidence of their horizontal gene transfer[J]. Biodegradation, 2006, 17(5): 465-472.
- [30] TRINDER M, McDOWELL T W, DAISLEY B A, et al. Probiotic *Lactobacillus rhamnosus* reduces organophosphate pesticide absorption and toxicity to *drosophila melanogaster*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2016, 82(20): 6204-6213.

(编辑:顾林玲)