

◆ 开发与分析 ◆

农药降解菌的筛选及应用评价

孔洁,樊梅娜,陶宁,韩广泉,冉新炎,王丽荣*

(山东碧蓝生物科技有限公司/山东省农业微生物技术创新中心/黄淮海农业微生物资源与利用重点实验室,山东泰安 271000)

摘要:采用富集驯化、分离纯化法从受农药污染的土样和水样中筛选分离得到1株农药降解菌NBL-B0078,并通过形态学和生理生化特征,以及16S rRNA基因序列分析进行鉴定,同时,考察了其对应作物的安全性,及对土壤和萝卜中农药残留的降解能力。结果表明,菌株NBL-B0078对百菌清、敌敌畏、高效氯氟菊酯、2,4-滴、烯酰吗啉具有良好的降解能力,降解率分别达到100%、63.64%、75.00%、69.23%和83.54%;经分子鉴定,NBL-B0078为枯草芽孢杆菌斯氏亚种(*Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii*)。该降解菌株能够显著降低土壤和萝卜中农药残留量,是一株具有良好开发前景的农药降解菌。

关键词:农药降解菌;枯草芽孢杆菌斯氏亚种;农药残留;百菌清;筛选

中图分类号:X 172;X 592 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1671-5284.2024.06.009

Screening and application evaluation of pesticide degrading strain

KONG Jie, FAN Meina, TAO Ning, HAN Guangquan, RAN Xinyan, WANG Lirong*

(Shandong Bee-lan Biotechnology Co., Ltd., Shandong Provincial Agricultural Microbial Technology Innovation Center, Key Laboratory of Agricultural Microbial Resources and Utilization in Huanghuaihai, Shandong Tai'an 271000, China)

Abstract: A pesticide degrading strain NBL-B0078 was isolated from soil and water contaminated with pesticides by enrichment domestication, isolation and purification. It was identified by morphological, physio-biochemical, 16S rRNA sequence analysis. And the safety of NBL-B0078 to crops and its abilities to degrade pesticide residues in soil and radish were investigated. The results showed that strain NBL-B0078 had good degradation ability, the degradation rates to chlorothalonil, dichlorvos, *beta*-cypermethrin, 2,4-D and dimethomorph were 100%, 63.64%, 75.00%, 69.23% and 83.54%, respectively. After molecular identification, strain NBL-B0078 was identified as *Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii*. The degrading strain could significantly reduce pesticide residues in soil and radish, and it had good development prospect.

Key words: pesticide degrading strain; *Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii*; pesticide residue; chlorothalonil; screen

我国是农业大国,在农产品的种植过程中,农民通常会选择使用农药来防御病虫害,提高农作物收成,增加经济收益^[1-2]。但农药的不合理使用,会阻碍农作物正常生长,导致土壤肥力下降,造成农药残留,危害人体健康等^[3-5]。因此,如何降解农产品和环境中的农药残留已成为世界各国的研究热点。

目前,农药残留的去除方法主要有物理法^[6]、化

学法^[7]、生化法^[8]和微生物降解法^[9]。其中,微生物降解法可以大幅度降低果蔬等农产品中农药残留量,而且不会对环境造成二次污染^[10]。Maria等^[11]从土壤中筛选出克氏杆菌,发现其对氟乐灵的降解率达24.6%;丁海涛等^[12]从活性污泥富集培养基中分离筛选得到菌株qw5,发现其对青菜中残留的拟除虫菊酯类杀虫剂具有明显的去除效果;刘智等^[13]研究发

收稿日期:2024-03-19

基金项目:山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目(2022TSGC1301);2020年度泰山英才领军人才项目(室字[2021]5号)

作者简介:孔洁(1996—),女,山东菏泽人,硕士,主要从事微生物制剂的开发与应用。E-mail:2843261410@qq.com

通信作者:王丽荣(1985—),女,山东烟台人,硕士,主要从事微生物制剂的开发与应用。E-mail:13245381058@163.com

现,利用甲基对硫磷降解菌DLL-E4开发的酶制剂对甲胺磷、辛硫磷和毒死蜱的降解率分别为23.0%、67.8%、32.3%;田颖等^[14]研究发现,多粘类芽孢杆菌对农药残留降解作用最强,其对氟啶胺、六六六、五氯硝基苯、毒死蜱、滴滴涕的降解率分别为86.90%、88.89%、79.88%、86.12%和86.67%。使用微生物降解农药具有非常好的应用前景,因此,筛选具有不同功能的农药降解菌,为后续构建具有协同作用的农药降解微生物菌群奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验样品

试验共采集样品14份。其中,9份土样采自于农药厂周边土壤、植物根际土壤和非根际土壤,5份水样采自于该厂区的排水口。样品采集后将其保存于保鲜袋中并带回实验室进行处理。

1.1.2 培养基及组成成分

LB培养基:葡萄糖10 g/L、蛋白胨10 g/L、酵母膏5 g/L、氯化钠5 g/L,pH为7.0。以农药为唯一碳源的无机盐培养基:硫酸铵1 g/L、磷酸氢二钾1.5 g/L、磷酸二氢钾0.5 g/L、七水硫酸镁0.1 g/L、氯化钠1 g/L。以农药为唯一磷源的无机盐培养基:葡萄糖10 g/L、硫酸铵1 g/L、氯化钾1 g/L、七水硫酸镁0.1 g/L、氯化钠1 g/L。以农药为唯一碳源和磷源的无机盐培养基:硫酸铵1 g/L、氯化钾1 g/L、七水硫酸镁0.1 g/L、氯化钠1 g/L。相应的固体琼脂培养基,需加化学纯琼脂20 g/L。将培养基分装后,于121℃、0.106 MPa下灭菌20 min,备用。

1.1.3 试验产品

百菌清可湿性粉剂,江西中迅农化有限公司;敌敌畏乳油,山东大成农化有限公司;烯酰吗啉水分散剂,陕西海容德植物激素研发中心有限公司;2,4-滴可溶粉剂,四川润尔科技有限公司;高效氯氰菊酯乳油,山东恒利达生物科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 农药降解菌分离纯化及筛选方法

取10 g土壤样品或水样加入到含不同农药的富集培养基(起始农药质量浓度为50 mg/L)中,置于30℃、150 r/min摇床振荡培养。待培养液浑浊后转接入含高浓度农药的富集培养基中,直至质量浓度提高至300 mg/L。取最后一次富集驯化的培养液用平板稀释法涂布于含300 mg/L农药的固体琼脂培养基上,30℃培养,直至长出单菌落。用接种环挑取生长

快、菌落规则的单菌落。在对应的固体琼脂培养基平板上划线分离,30℃培养,重复划线2~3次,直至长出长势良好的单菌落,进行斜面保存。

1.2.2 农药降解菌的降解效率测定方法

选取分离筛选得到的降解效果好的农药降解菌进行液体培养,将百菌清、敌敌畏、高效氯氰菊酯、2,4-滴、烯酰吗啉配制成质量浓度为50 g/L的复合农药母液。设空白组、对照组和样品组,其中,空白组只含LB液体培养基100 mL,对照组在100 mL LB液体培养基中加入1 mL复合农药母液,样品组在100 mL LB液体培养基中加入1 mL复合农药母液,同时接种初筛菌株菌液1 mL。对所有试验组进行摇瓶培养,温度为30℃,转速150 r/min,培养时间2 d。2 d后取样,进行样品检测。

$$\text{农药降解率}/\% = \left(1 - \frac{\text{样品组实测残留量}}{\text{对照组实测残留量}}\right) \times 100$$

1.2.3 农药降解菌的鉴定方法

农药降解菌的形态特征鉴定:将分离筛选得到的农药降解菌进行菌体菌落特征的观察,并进行结晶紫染色,镜检。

生化鉴定:对农药降解菌株使用专利产品HBI微生物生化鉴定条进行测定。

16S rRNA基因扩增分析:参照细菌基因组提取试剂盒(天根)操作步骤,提取细菌基因组。上游引物27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3')、下游引物1492R (5'-TACGACTTAACCCCAATCGC-3')。PCR反应体系采用30 μL体系,DNA模板1 μL、上游引物1 μL、下游引物1 μL、2×PCR mix 15 μL、ddH₂O 12 μL。PCR反应条件:94℃预变性5 min;94℃变性30 s,55℃退火30 s,72℃延伸1 min 10 s,共35个循环;72℃最终延伸10 min。细菌基因组进行序列测定,测序结果在NCBI中进行Blast比对,并构建系统发育树。

1.2.4 安全性评价方法

安全性评价试验选用黄瓜种子进行。将种子在质量分数2%的菌液及蒸馏水中浸泡10 min,然后用蒸馏水进行冲洗,均匀放置于铺好湿滤纸的培养皿中,恒温培养,温度为24℃。分别记录处理组与对照组的种子发芽数、须根数量、根长。通过观察种子发芽的延迟程度和幼苗的生长情况判断安全性。

1.2.5 土壤、萝卜中农药残留测定方法

发酵液的制备:使用常规LB培养基活化和发酵,30℃、180 min条件下发酵24 h。产孢率大于95%,活菌数为5亿CFU/mL。

选用百菌清、烯酰吗啉、敌敌畏、高效氯氰菊酯

等4种市售农药,供试材料为红心萝卜。选择平整健康地块,利用果实膨大期萝卜进行农药降解菌剂的效果研究。试验设空白组(A)和处理组(B),A喷施4种农药后,浇灌清水;B喷施4种农药后,喷施农药降解菌发酵液。

试验于2021年8月17日进行整地播种,期间正常田间管理。2021年11月25日,第1次喷施4种农药的混合液,按照产品说明书最大推荐量的2倍喷施;2021年12月1日,第2次喷施4种农药的混合液,处理组喷施农药降解菌剂,对照组喷施等量清水;2021年12月10日,采集萝卜和土壤样品,置于冰盒,送检,测定百菌清、烯酰吗啉、敌敌畏、高效氯氰菊酯4种农药残留。

2 结果与分析

2.1 农药降解菌分离筛选

对单一农药的无机盐固体培养基初筛获得164株菌株,结合含混合农药的固体琼脂培养基平板复筛结果,获得4株降解效果良好的菌株,分别编号NBL-B0076、NBL-B0078、NBL-B0130和NBL-B0131,见图1。

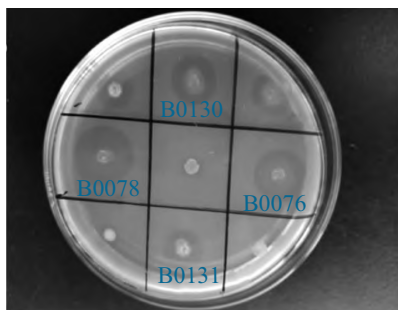


图1 平板复筛中4株降解效果良好的菌株

菌株NBL-B0076呈圆形,波浪形边缘,白色,表面粗糙无光泽,内部黏液状,台状凸起形似火山,湿润;菌株NBL-B0078形状不规则,锯齿状边缘,乳白色,不透明,表面粗糙无光泽,胶质扁平,黏稠;菌株NBL-B0130呈圆形,波浪形边缘,白色,表面粗糙无光泽,台状凸起形似火山,湿润;菌株NBL-B0131形状不规则,锯齿状边缘,乳白色,不透明,表面粗糙有光泽,胶质扁平,黏稠。

2.2 农药降解菌的降解效率

对分离筛选得到的4株降解效果良好的农药降解菌进行液体培养,并测定其降解效率。结果见图2。4株菌株对百菌清的降解率均为100%;菌株NBL-B0078对2,4-滴的降解率最高,为69.23%;菌株

NBL-B0130对敌敌畏、高效氯氰菊酯降解率较高,分别为78.79%和85.29%;菌株NBL-B0131对烯酰吗啉降解率最高,为85.08%。综合来看,菌株NBL-B0078对农药的降解效果较好,对百菌清、敌敌畏、高效氯氰菊酯、2,4-滴和烯酰吗啉的降解率分别达到100%、63.64%、75.00%、69.23%和83.54%。

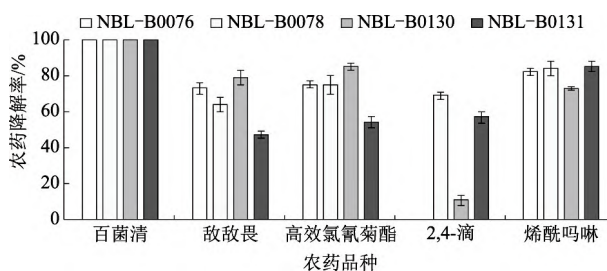


图2 不同菌株对5种农药的降解效果

2.3 农药降解菌NBL-B0078鉴定

2.3.1 农药降解菌NBL-B0078形态特征

菌株NBL-B0078菌落形态呈胶质扁平,乳白色,形状不规则,不透明,粗糙无光泽,边缘呈锯齿状,质地黏稠。在光学显微镜下观察,菌体形态呈典型的芽孢杆菌特征,细胞呈直杆状,芽孢中生或亚端生(图3)。



图3 菌株 NBL-B0078 菌体菌落形态特征图

2.3.2 农药降解菌NBL-B0078生化鉴定

对菌株NBL-B0078使用HBI微生物生化鉴定条进行测定。结果显示,厌氧生长、D-甘露醇、明胶液化、pH 5.7生长、V-P试验,以及硝酸盐还原和淀粉水解试验均呈阳性反应,柠檬酸盐、丙酸盐、D-木糖、L-阿拉伯糖、7%氯化钠生长试验呈阴性反应。

2.3.3 农药降解菌NBL-B0078分子鉴定

对菌株NBL-B0078进行序列测定,测序结果通过NCBI中的Blast进行比对。结果发现,NBL-B0078菌株的16S rRNA序列与*Bacillus* sp.的16S rRNA序列相似度达100%,该菌株为芽孢杆菌属。构建基于16S rDNA序列的系统发育树(图4),结果发现,菌株NBL-B0078与枯草芽孢杆菌斯氏亚种JS-4 (*Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii*) 亲缘关系较近。

2.4 农药降解菌NBL-B0078安全性评价

采用市售黄瓜种子进行安全性试验,测定发芽率、主根长及须根数,结果如表1所示。经NBL-B0078

菌液浸泡后,其发芽率、平均须根数和平均主根长与对照相比均呈现不同程度的增加。综合来看,NBL-B0078菌株对植物安全,且对黄瓜种子发芽率具有促进作用,显著促进黄瓜根部生长。

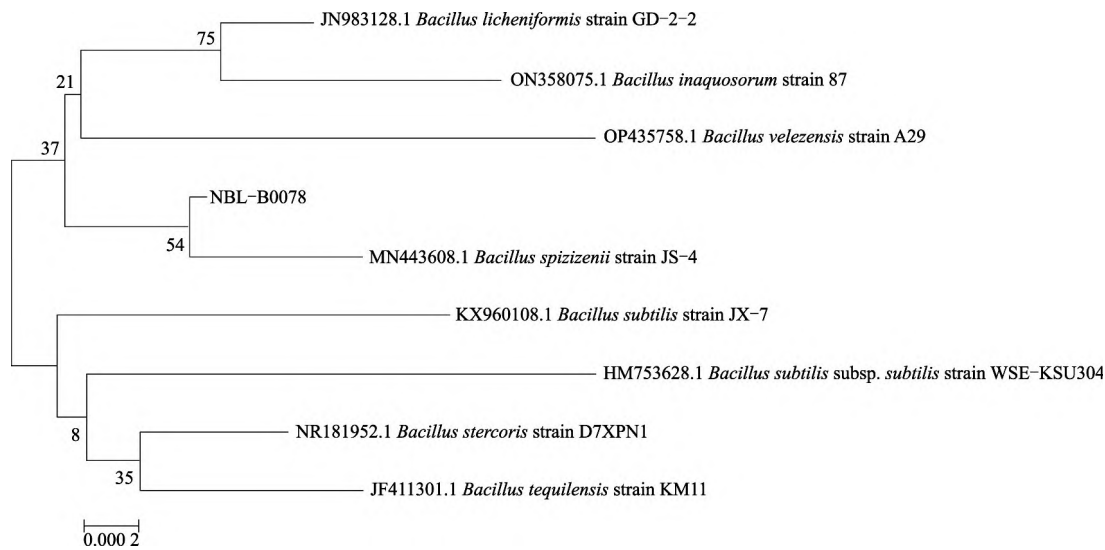


图 4 菌株 NBL-B0078 的系统进化树分析

表 1 NBL-B0078 对黄瓜种子的安全性评价

处理	发芽率/%	平均根须数/根	平均主根长/cm
空白对照	66.7 ± 3.17a	2.10 ± 0.46b	2.22 ± 0.38b
NBL-B0078	85.7 ± 3.28a	7.82 ± 2.93a	4.41 ± 0.53a

2.5 对土壤、萝卜中农药残留降解影响

由表2可以看出,与空白组(喷施4种农药后浇灌清水)相比,处理组(喷施4种农药后浇灌NBL-B0078发酵液)土壤中百菌清、烯酰吗啉、高效

氯氰菊酯和敌敌畏残留量显著降低,其中,百菌清残留量下降77.69%,烯酰吗啉残留量下降84.00%,敌敌畏和高效氯氰菊酯残留量下降100%。说明施用微生物菌剂能够明显降低土壤中农药的残留量。

与空白组相比,处理组萝卜中百菌清、烯酰吗啉和敌敌畏分别下降72.02%、100%、71.73%;高效氯氰菊酯未检出可能是因为自然降解速度较快导致其无法检出。

表 2 NBL-B0078 菌剂对土壤和萝卜中农药残留的降解影响

农药名称	土壤中农药残留/(mg/kg)		萝卜中农药残留/(mg/kg)	
	空白组	处理组	空白组	处理组
百菌清	48.400 ± 3.900	10.800 ± 0.700	0.529 ± 0.003	0.148 ± 0.001
烯酰吗啉	0.100 ± 0.001	0.016 ± 0.001	0.004 ± 0	未检出
敌敌畏	0.043 ± 0.003	未检出	1.910 ± 0.070	0.540 ± 0.040
高效氯氰菊酯	0.023 ± 0.004	未检出	未检出	未检出

3 讨论

农药的过度或不合理使用造成的农药残留,不仅带来了一系列环境污染等问题,而且也对土壤微生态环境产生了一定影响^[15-18]。目前,以微生物修复为主要手段的农残降解技术逐渐成为解决当前土壤中农药残留问题的有效途径^[19]。

自然界中生产者、消费者和分解者之间存在着相生相克的互作关系,在某种物质污染的环境中也必然存在能够对其进行降解的微生物^[20]。目前,农药降解菌的来源主要有2种:一是从已保存的菌株中

进行筛选;二是从受污染的土壤或者水体中进行分离和富集^[21]。本研究所用菌株亦从土样和水样等受农药污染的环境中进行筛选,获得的NBL-B0078菌株对植物安全,且对黄瓜种子发芽率具有促进作用,显著促进黄瓜根部生长。研究表明,来源于原位环境的微生物具备较高的安全性^[22]。

目前,分离得到的农药降解菌分类广泛,包括假单胞菌属(*Pseudomonas*)、无色杆菌属(*Achromobacter*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、棒状杆菌属(*Corynebacterium*)、曲霉属(*Aspergillus*)、青霉属(*Penicillium*)等^[23]。陈锐等^[24]从土壤中分离鉴定出1

株假单胞菌,研究发现该菌株对氧乐果具有降解作用,降解率达92.3%;Abdelkader等^[25]研究采用富集技术从氯氟氰菊酯重污染土壤中分离出5株菌株,菌株在1 d内对高浓度(1 200 g/L)氯氟氰菊酯有较好的生物降解潜力,其鉴定为枯草芽孢杆菌。李志清等^[26]从污水处理站污泥中筛选出1株高效降解2,4-滴的无色杆菌,其可以将2,4-滴作为唯一碳源和能源,而且环境适应力强,底物范围广。本研究筛选出具有广谱农药降解特性的枯草芽孢杆菌斯氏亚种NBL-B0078,其对百菌清、敌敌畏、高效氯氟菊酯、2,4-滴、烯酰吗啉的降解率分别达到100%、63.64%、75.00%、69.23%和83.54%。环境中原位菌的多样性对于农药残留降解、自净化能力和农药残留修复均具有重要价值^[27]。

基因的水平飘移是微生物获得降解功能的主要途径,尽管目前已分离得到的农药降解菌种类多样,但其降解基因之间的保守性很高^[28-29]。Trinder等^[30]发现,有机磷类农药水解酶基因在假单胞菌*P. diminuta* GM和黄杆菌*Flavobacterium* sp. strain ATCC 27551中完全相同。本研究发现的枯草芽孢杆菌斯氏亚种NBL-B0078具有广谱性,能够对多种农药残留进行降解且条件温和,推测其也可能具有某些保守降解基因,需要进行进一步研究确定。

4 结论

本研究利用农药选择性培养基定性筛选获得4株降解效果较好的农药降解菌,分别为NBL-B0076、NBL-B0078、NBL-B0130和NBL-B0131。进一步室内摇瓶试验定量检测其降解效率,发现菌株NBL-B0078对农药的降解效果良好。通过分子鉴定并构建系统发育树,确定NBL-B0078为枯草芽孢杆菌斯氏亚种(*Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii*)。通过对萝卜进行田间试验,初步认为微生物菌剂NBL-B0078可以明显降低土壤和农产品中农药残留量,是一株具有良好开发前景的农药降解菌。

参考文献

- [1] 贺赞, 蔚继贤, 梁俊飞, 等. 农药的危害及绿色植保技术推广应用研究[J]. 农家参谋, 2020(17): 50.
- [2] 聂司宇, 孟昊, 王淑红. 微生物对有机磷农药残留的降解[J]. 环境保护与循环经济, 2020, 40(3): 44-49.
- [3] 范家豪, 李桂花, 夏奇峰, 等. 农药化肥科学使用对农产品质量安全的影响[J]. 南方农业, 2018, 12(2): 149-151.
- [4] 张红珍. 农药化肥使用不当的危害及提高农产品质量安全的方法[J]. 现代农业科技, 2022(2): 203-204.
- [5] 宋筱. 新型农药的应用及绿色植保技术探讨[J]. 农家参谋, 2018(3): 49.
- [6] 张建波. 新烟碱类农药的高能电子束辐照降解效应研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2023.
- [7] 吴玉杰, 莫伟媛, 黄志强, 等. 使用微量化学法测定茶叶中有机磷农药残留量的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2010, 27(1): 30-35.
- [8] 邵承斌, 谭冬梅. 生化法降解白菜中氯氟菊酯的残留[J]. 农药, 2006, 45(4): 265-268.
- [9] 刘顺宇, 林双娣, 郭淑贞, 等. 新鲜蔬菜中农药残留降解技术应用研究进展[J]. 湖南农业科学, 2016(11): 119-122.
- [10] 杨丽维, 陈颖, 张峻. 农产品中残留农药的降解去除方法研究进展[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(24): 288-292.
- [11] MARIA D L B, CHARLES W G, MARIA D C P, et al. Biodegradation of the herbicide trifluralin by bacteria isolated from soil[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2003, 43(2): 191-194.
- [12] 丁海涛, 李顺鹏, 沈标, 等. 拟除虫菊酯类农药残留降解菌的筛选及其生理特性研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 123-129.
- [13] 刘智, 张晓舟, 李顺鹏. 利用甲基对硫磷降解菌DLL-E4消除农产品表面农药污染的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1770-1774.
- [14] 田颖, 邵玉钢, 张雪, 等. 6种内生菌对发酵人参茎叶农药残留降解和皂苷转化的影响[J]. 中国现代应用药学, 2023, 40(4): 483-488.
- [15] APARICIO V C, GERONIMO E D, MARINO D, et al. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins[J]. Chemosphere, 2013, 93(9): 1866-1873.
- [16] 孙燕霞. 蔬菜中农药残留及危害分析[J]. 现代农业, 2020(9): 64-66.
- [17] 杨迪. 有机磷农药的残留、毒性和展望[J]. 硅谷, 2014, 7(6): 178-179.
- [18] CHU H, GAO G F, MA Y, et al. Soil microbial biogeography in a changing world: recent advances and future perspectives [J]. mSystems, 2020, 5(2): 1-12.
- [19] 张荣, 赵振华, 白鹤, 等. 敌敌畏降解菌的筛选鉴定和降解能力研究[J]. 应用化工, 2022, 51(8): 2262-2267.
- [20] 刘雪纯, 耿晓晴, 丁珂, 等. 规模化猪场粪污高效脱硫菌的分离、筛选与鉴定[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(3): 107-110.
- [21] 夏绍辉, 周韵扬, 赵爽. 农药污染土壤淋溶废水降解菌的筛选研究进展[J]. 农业科技与信息, 2023(4): 111-113.
- [22] 聂司宇, 孟昊, 王淑红. 微生物对有机磷农药残留的降解[J]. 环境保护与循环经济, 2020, 40(3): 44-49.
- [23] 史秀珍. 百菌清降解菌的筛选及其降解特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [24] 陈锐, 瞿佳, 门欣, 等. 氧化乐果降解菌ZZY-C13-1-9的筛选, 鉴定及降解能力[J]. 福建农业学报, 2020, 35(8): 869-895.
- [25] ABDELKADER A A, KHALIL M S, MOHAMED M S M. Simultaneous biodegradation of λ -cyhalothrin pesticide and *Vicia faba* growth promotion under greenhouse conditions [J]. AMB (下转第72页)

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0.217 557 $\mu\text{g/L}$ 、1.267 657 $\mu\text{g/L}$ 、0.024 217 $\mu\text{g/L}$ 、0.052 527 $\mu\text{g/L}$ 、0.334 822 $\mu\text{g/L}$ 、0.156 548 $\mu\text{g/L}$,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性检测与敏感性测定[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水稻纹枯病的协同防病作用[J].延边大学学报,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] DAFPONS K, 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管理[J].农药科学与管理,2019,40(2):16-19.
- [14] 耿岳,马婧,MECHTEL D 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 wood pigeons[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)