西北农林科技大学学报**(**自然科学版**)**

Journal of Northwest A&F University(Nat. Sci. Ed.)

网络出版时间：2020-07-08 09 **：**6 DOI：10)13207*\* cnkijnwafu. 2021. 01. 012

网络出版地址：https：/kns. cnki. net/kcms/detail/61. 1390. S. 20200707. 1537. 012. html

吉林克雷伯氏菌2**N**3对噻吩磺隆的降解特性及其  
土壤修复作用

林 杨 ，潘泽群 ，张金鹏，张 浩

(吉林农业大学 植物与保护学院，吉林 长春 130118)

［摘 要］**【**目的**】**研究吉林克雷伯氏菌2N3菌株对噻吩磺隆的降解特性及其对土壤的修复效果，为2N3菌株 实际应用奠定基础**。【**方法**】**利用HPLC和振荡培养法，研究噻吩磺隆初始质量浓度、接菌量、温度、pH、NaCl体积分 数以及土壤是否灭菌情况下，克雷伯氏菌2N3对噻吩磺隆的降解效果**。【**结果**】**在无机盐液体培养基中，2N3降解噻 吩磺隆的最优条件为：噻吩磺隆初始质量浓度50 mg/L,2N3接菌量为5% (体积分数),pH 7. 0,NaCl体积分数为 0.3%。在此条件下于30 °C ,150 r/min恒温振荡培养24 h**,**噻吩磺隆的降解率可达90.41%**。**在土壤中，2N3对噻吩磺隆 最高降解率可达96.03%**。**在未灭菌土壤中，2N3对噻吩磺隆的降解速率较灭菌土壤快，说明其能协助土壤微生物共同 降解噻吩磺隆**。【**结论**】**吉林克雷伯氏菌2N3菌株能有效降解噻吩磺隆，并对噻吩磺隆污染土壤有较好的修复效果**。**

［关键词］ 噻吩磺隆**；**克雷伯氏菌**；**降解特性**；**土壤修复

［中图分类号］S482. 4；S154. 39 ［文献标志码］A ［文章编号］1671-9387(2021)01-0102-06

Characteristics of *Klebsiella, jilinsis* 2N3 in thife nsulfur on -methyl  
degradation and soil remediation

LIN Yang,PAN Zequn,ZHANG Jinpeng,ZHANG Hao

*(College of Plant ProLecUon , Hin Agricultural Univer siLy , Changchun, J Hin* 130118 , *China)*

**Abstract: ［**Objective**!** The characteristics of bacteria *Klebsiella jilinsis* 2N3 in degrading thifensulfu— ron—methyl and its remediation effect on soil were studied to improve its practical application.**【**Method**】** The effects of 2N3 on degradation of thifensulfuron-methyl were studied by HPLC and shaking culture methods with different conditions of initial mass concentration, inoculation amount, temperature, pH, NaCl volume fraction,and whether soil was sterilized.**【**Result**】** In an inorganic salt liquid medium, the optimal conditions for thfensulfuron—methyl degradation by 2N3 included initial mass concentration of thifensulfu— ron—methyl 50 mg/L, 2N3 inoculation amount 5 % **(**volume fraction) , pH 7. 0**,** NaCl volume fraction 0.3% **,** 30C,150r/min constant temperature shaking and culture for 24h.The obtained degradationrateof thifensulfuron-methyl was 90.41%. The highest degradation rate ofthifensulfuron-methylin soil was 96.03%.Thedegradationrateofthifensulfuron-methylinunsterilizedsoilwashigherthanthatinsterilized soil,indicatingsoilmicroorganismswereassistedtodegradethifensulfuron-methyltogether. 【Conclusion】 Bacteria *Klebsiella jiiinsis* 2N3 can effectively degrade thf ensulfuron—methyl and has good repair effects on thifensulfuron-methylcontaminatedsoil.

**Key words:** thifensulfuron—methyl ； *Klebsiella jilinsis ；* degradation characteristics ； soil remediation

［收稿日期］ 2019-12-31

［基金项目］ 国家重点研发计划项目(2 016 Y F D 02 002 03)；吉林省科技厅科技攻关项目(2 019 030106 3N Y )

［作者简介］林杨(1994 — ),女，吉林白城人，在读硕士，主要从事农药微生物降解与生物修复研究。E-mail：linyang0708@163. com

［通信作者］张浩(1964 —)，女，吉林长春人，教授，博士生导师，主要从事农药毒理学研究。E-mail： haozhangl00@163. com

噻吩磺隆（thifensulfuron-methyl），学名为 3- （4-甲氧基-6-甲基-1,3,5-三嗪-2-基）-1-（2-甲氧基甲 酰基噻吩-3-基）-磺酰脲［**1**-**2**］，是一种高效、低毒、内吸 传导型选择性除草 剂［**3**-**5**］, 主 要用于 小麦田、玉 米田 等大多数阔叶性杂草的防除, 对禾本科杂 草也有一 定的抑制效果「**6**呵。噻吩磺隆的广泛应用在提高农 业生产效率方面发挥了重要作用, 但其残留给环境、 农产品及人类健康带来了诸多危害。 此外, 噻吩磺 隆及其代谢物不仅会对敏感农作物产生药害, 亦会 对其他作物 产 生危害, 有 时甚至会严 重 影 响作物的 正常生长S3。

微生物降解是目前最安全有效的农药降解方 式［**11**］,国内外学者已报道磺酰脲类除草剂的主要降 解菌有 *Hansschlegelia z hihuaicie* S113「12、*C*/ie"*g*- *gangzhangella methanolivorans* CHL1「**13**、寡养单 胞属**（***StenotropOomonas* **sp. ）**［**14**］、芽抱杆菌属*（.Ba cillus* sp. ）［**15**］、假单胞属*（Pseudomonas* sp. ）［**16**］、丁 香假单胞菌*（Pseudomonas ^iringae）1*、葡萄球菌 属（*Slaphylococcus* sp. ）［18］和苍白杆菌属（*Ochro- bactrum* sp. ）［**19**］等。此外*,*Hang 等〔**12**〕从 *Hanss- chlegelia zhihuaiae* S113 中克隆了一个新的水解酶 基因*sue,*其主要负责磺酰脲类除草剂的去酯化反 应。 由于不同微生物对磺酰脲类除草剂的降解途径 不同, 以致于产生的中间降解产物也有一定的差 别［**23**］。 目前报道的磺酰脲类除草剂在环境中的降 解代谢方式有 磺酰脲桥断裂、 皂化反应、 脱甲 基 作 用 、脱酯反应等［**21**-**22**］, 其中磺酰脲桥断裂是磺酰脲类 除草剂的主要降解代谢途径, 随之生成的降解产物 为相应的磺酰胺和 杂环胺［**23**］。 本试验以吉林农 业 大学农药学实验室分离的磺酰脲类除草剂的降解菌 吉林克雷伯氏菌*（Klebsiella jilinsis* ） 2N3 菌株〔**24**-**25**〕 为研究对象, 对其降解特性及对噻吩磺隆污染土壤 的生物修复作用进行研究, 以期为该菌在噻吩磺隆 污染土壤修复中的实际应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试菌株 吉林克雷伯氏菌*（Klebsiella ji- insss）* 2N3菌株，由吉林农业大学农药学实验室分 离纯化, 冷冻保存。

1．12 供试土壤 供试土壤采自吉林省长春市玉 米田，土壤类型为草甸黑土，其pH为6. 57,有机质 含量2.65g/kg。采集耕层（0〜20 cm）新鲜土样自 然风干，过孔径425 gm筛后备用*。*

1. 3 药品及试剂 噻吩磺 隆 原药 （ 有 效 成分 97%）,由江苏瑞邦农药厂有限公司提供；乙腈（色谱 纯）, 购自赛默飞世尔科技（中国）有限公司；乙酸、氯 化钠、葡萄糖、KH2PO八K2HPO4、MgSO』• 7 H2O, 均购自 北京北化精细化学品有限责任公司 ；酵母浸 粉、胰蛋白胨、琼脂, 均购自北京奥博星生物技术有 限责任公司。

1.1.4 仪器设备 Agilentl260高效液相色谱仪, 美国安捷伦公司；UV-2550紫外分光光度计，岛津 仪器苏州有限公司；HZQ-F100振荡培养箱，常州诺 基仪器有限公司；DSX-280B压力灭菌锅，河南仪器 仪表设备有限公司；GL-16LX立式高速冷冻离心 机,苏州欧倍科学仪器有限公司；SW-CJ-IF型超净 工作台，郑州南北仪器设备有限公司；KQ-250DE医 用数控超声波清洗器, 昆山市超声波仪器有限公司 ； WMK-02电热恒温培养箱，南京实验仪器厂。

1.1.5培养基 供试培养基有LB液体培养基、LB 固体培养基和无机盐培养基, 培养基组成参照文献 ［25］。

1. 试验方 法

1.2.1菌种制备 将2N3单菌落接种于LB液体 培养基中，30 *°C*、150 r/min恒温振荡培养12 h, 7 000 r/min离心5 min,弃去上层清液，用磷酸缓冲 液洗涤3 次，最后再用磷酸缓冲液重悬备用。

1. 2N3 在无机盐培养基中的降解特性 试 验 的基本条件为：无机盐培养基 pH 7 0, 摇床温度30 C ,2N3接菌量5% （以体积分数表示），NaCl体积 分数03%，将溶于乙腈的噻吩磺隆溶液添加到无 机 盐 培 养 基 中 ，使 其 质 量 浓 度 为 50 mg/L，150 r/min摇床振荡培养24 h。分别通过改变基本条件 中 的 噻 吩 磺 隆 初 始 质 量 浓 度 （5，10，30，40，50 mg/L）、2N3 接菌量（以体积分数表示，分别为 1%， 3%，5%，7%，9%）、 培 养 温 度 （15，25，30，35，40 C）、pH（5 0，6 0，7 0，8 0，9 0）、NaCl 体积 分数 （00 1%，0 3%，0 7%，1 0%） 在其他条件保持不 变的情况进行试验,培养10和24h后，利用紫外分光 光度计测定其在波长600 nm时的吸光度，即为2N3 的生长情况，并测定噻吩磺隆的质量浓度。 每 处 理 重复3次，以未接2N3的无机盐培养基为对照。
2. 土壤中噻吩磺隆的降解 取供试未灭菌土 壤500 g,加入溶于乙腈的噻吩磺隆药液，充分拌匀, 使土壤中 噻吩磺隆的质量浓度为 50 mg/L， 以菌体 浓度0.5X101**2** CFU/g接入2N3菌悬液，用无菌水 调整含水量为20%， 混匀备用 。 同时设置湿热灭菌 土壤处理，并设添加噻吩磺隆药液但不添加 2N3 菌 悬液的土壤作为空白对照，每处理重复3 次。

将各处理放在生化培养箱中，于25 C黑暗条件 下培养，定期称质量并补足水分。在培养开始后2h 及1,3,5,7,14,20 d,取样测定土壤中的噻吩磺隆残 留量。

1 24 无机盐培养基和土壤中残留噻吩磺隆的提 取与测定 （1）无机盐培养基中残留噻吩磺隆的提 取*。*取20 mL无机盐培养液，7 000 r/min离心5 min,取上清液10 mL于250 mL分液漏斗中，分别 用 20,25,25 mL 二氯甲 烷萃取噻吩磺隆, 合并有机 相过无水硫酸钠,收集液体,40 C 旋转浓缩至近干, 乙 腈 定 容 至 1 mL , 经 0 22 gm 滤 膜 过 滤 后 , 用 HPLC 测定。

（2） 土壤中残留噻吩磺隆的提取。 称取土壤样 品20g于250 mL具塞三角瓶中，加入50 mL乙腈 和10 mL 水, 恒温振荡提取40 min, 然后真空抽滤, 滤液转入100 mL 具塞量筒中, 再向该量筒中 加 入8 g 氯化钠, 上下振荡100 次静止1 min, 再振荡 150 次静止1 h,取上层25 mL乙腈溶液，减压浓缩至近 干,乙腈定容至2 mL, 经0 22 gm 滤膜过滤后, 用 HPLC 测定。

噻吩磺隆降解率的计算公式为：  
噻吩磺隆降解率=

门\_降解菌处理后噻吩磺隆质量浓度）,0/ （ 噻吩磺隆初始质量浓度 ）X100%。

（3） 液相色谱仪测定条件。Agilent1260高效液 相色谱仪*,*色谱柱 Agilent Zorbax RRHD Eclipse Plus C18 （5 gm, 250 mmX 4. 6 mm）；流动相为乙 腈和0. 1%乙酸水溶液（*V*（乙酸*）*:*V*（水）=35 : 65）, 流速0．8 mL/min, 检测 波长 254nm, 柱 温30 C，进样体积10 gL。

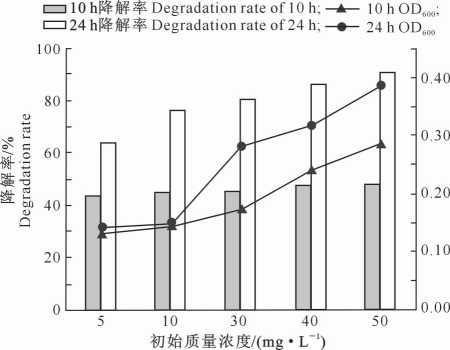
2 结果与分析

2．1 HPLC 方法的灵敏度、准确度和精确度

为了考察 HPLC 方法的准确度, 分别在空白土 壤样品和无机盐溶液中添加一定量噻吩磺隆标准溶 液,使其质量浓度分别为 0．1,0．5,1．0 mg/L, 每处 理5 次重复, 进行添加回收试验。 结果测得空白 土 壤样品中噻吩磺隆的 添加 回收率分别 为 86．9% 〜 97．2%,95．7%〜99．6%,85．7% 〜949%； 空白 无 机盐溶液中噻吩磺隆的添加回收率分别为876%〜 98．2%,926%〜989%,893%〜96．4%。 在该条 件下, 噻吩磺隆最小检出量为 5X10**-10** g, 最低检出 限为 0．05 mg/L, 可有效进行噻吩磺隆的定性和定 量分析。 添加回收试验结果表明, 本研究所采用 的 噻吩磺隆残留分析方法, 准确度、灵敏度与精密度均 符合农药残留检测的要求［**26**-**27**］。

22 2N3 在无机盐培养基中的降解特性

2.2.1噻吩磺隆初始质量浓度对2N3降解噻吩磺 隆的影响 在含不同初始质量浓度噻吩磺隆的无机 盐培养基中，接种2N3后于150 r/min振荡培养10 和24 h,分析其对噻吩磺隆的降解作用，结果见图1。



Concentration

图1不同初始质量浓度噻吩磺隆存在条件下2N3的  
生长及其对噻吩磺隆的降解作用

Fig. 1 Growth of 2N3 under different initial  
concentrationsofthifensulfuron-methylanditse**f**ects  
onthifensulfuron-methyldegradation

由图1可知,2N3对高质量浓度噻吩磺隆的降 解效果较好，当无机盐培养基中噻吩磺隆的初始质 量浓度分别 为 5，10，30，40，50 mg/L 时，接种 相 同 量2N3菌悬液，在30 C、150 r/min振荡培养24 h 后，噻吩磺 隆的 降 解 率 分 别 为 63．48%，76．11%， 8044%,85．94% 和 90．41%。 这说明无机盐培养 基中噻吩磺隆的初始质量浓度越高，2N3菌株对其的 降解效果越好，在噻吩磺隆初始质量浓度较低时降解 率却较低，这是因 为 2N3 以噻吩磺隆为 唯一氮源， 较高质量浓度的噻吩磺隆有利于2N3菌体的生长。 222 2N3 接菌量对噻吩磺隆降解的影响 由 图

2 可知，在噻吩磺隆初始质量浓度为 50 mg/L 的无 机盐培养基中 ，接种 2N3 菌悬液使其接 菌 量（体积 分数）分别为1% ,3% ,5% ,7% ,9%时，培养24 h后 噻吩 磺 隆 的 降 解 率 依 次 为 73．38%，77．49%， 9041%，98．34%和98．43%。 由 此可知，无机盐培 养基中噻吩磺隆的降解率与2N3接菌量呈正相关 关系。 当无机盐培养基中 2N3 接菌量为 7%和 9%时，经24 h培养降解后无机盐中的噻吩磺隆质量浓

度最低**，** 分别为 0 749 和 0 739 mg**/**L**。**

2.2.3培养温度对2N3降解噻吩磺隆的影响 由 图3可知，30 C培养10 h时，2N3对噻吩磺隆的降

解率均高于其他温度处理**。**培养24 h时，以温度为 25〜35 C时2N3的降解效果较好，尤其以30 C时 的降解率最高**，**可达 90．41% **；**而在 15 和 40 C 时 2N3 对噻吩磺隆的降解率仅分别为31．88% 和 6127%**。**表明 2N3 降解噻吩磺隆的最适温度为 25〜35 C，最佳降解温度为30 C**。**

匚=]10 h降解率 Degradation rate of 10 h; ▲ 10 h OD600;

[=l 24 h险裤奉 Degradation rate of 24 h; —24 h OD600120r -|0.60

匚10 h降解率 Degradation rate of 10 h; ▲ i=i24 h险裤家 Degradation rate of24 h; ■

100

100

U3 uo=0pe&)(DCI

%、槪富迤

9

oodo

.20

3 5 7

2N3接菌量/%  
Inoculation amount of 2N3

0.00

10hOD600;

24 h OD600

15

40

0

30

o o 卫 *1.*

o.o.

80

20

o o

6 4

03

进M-誓邂

0.00

25 30 35 40

培养温度/°C

Temperature

。。&o

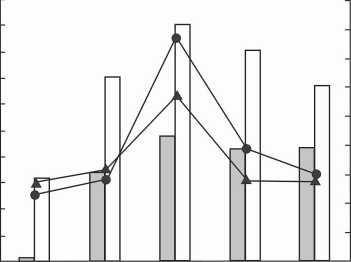
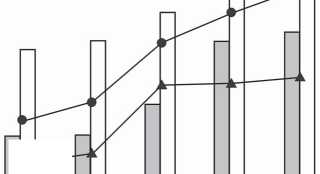
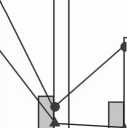
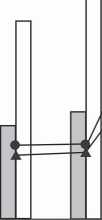
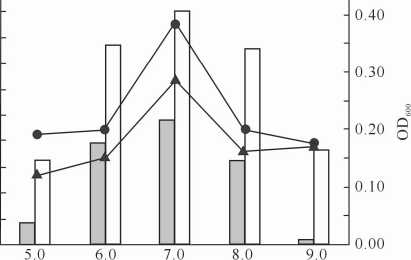


图2 2N3 接菌量对菌株生长及噻吩磺隆

图3 2N3 在不同培养温度条件下的生长及其

降解的影响

对噻吩磺隆的降解作用



=110 h降解率 Degradation rate of 10 h; ▲ 10 h OD600;

Ul 24 h险裤奉 Degradation rate of 24 h; . 24 h OD600

100r -1

匚二110 h降解率 Degradation rate of 10 h; ▲ 10 h OD600;

1=124 h险裤家 Degradation rate of 24 h; —24 h OD600

100r -i

o

80

60

LI

40

LI

20

1.0

40

o.

30

o o  
卫 J

o.o.

0.00

oodo

图4 2N3 在不同 pH 条件下的生长及其

对噻吩磺隆的降解作用

Fig4 E**f**ectofpH ongrowthof2N3anddegradation  
ofthifensulfuron-methyl

2 25 NaCl 体积分数对 2N3 降 解噻吩磺 隆的 影 响 在含不同体积分数NaCl的无机盐培养基中, 2N3 的生长情况及其对噻吩磺隆的 降解效果如图 5

0.1 0.3 0.7

NaCl体积分数/%  
NaCl volume fraction  
图5 2N3 在不同 NaCl 体积分数条件下的生长及其

对噻吩磺隆的降解作用

Fig5 E**f**ectofNaClvolumefractionongrowthof2N3

and

degradationofthifensulfuron-methyl

所示**。** 由 图 5 可 知**，** 在噻吩磺隆质量浓度为50

mg/L的无机盐中，接种2N3菌悬液并使无机盐中  
的 NaCl 体 积 分 数 为 0%**，**0 1%**，**0 3%**，**0 7% 和

Fig2 E**f**ectofinoculatedquantityongrowthof2N3and  
degradationofthifensulfuron-methyl

2. 2. 4 pH对2N3降解噻吩磺隆的影响 由图4

可知**，** 在噻吩磺隆质量浓度为 50 mg**／**L 的 无机盐培

养基中，接种2N3菌悬液并使基础盐的pH分别为

5. 0,6.0,7.0**,**8. 0 和 9. 0 **,**培养 24 h 后 2N3 对噻吩 磺隆的 降 解 率分别 为 32 62%**，**77 19% **，**90 41%**，**

75 66% 和 36 59%**。** 当 pH 为 7 0 时**，** 培养 10 和  
Fig3 E**f**ectoftemperatureongrowthof2N3and  
degradationofthifensulfuron-methyl

24h 后的降解率分别 为 48 05% 和 90 41%**。** 由 图

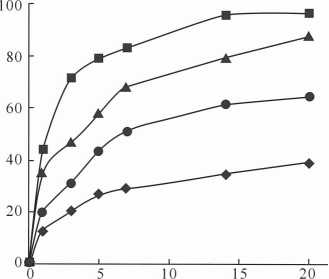
4还可知，菌株2N3的生长与其对噻吩磺隆的降解

效率呈正相关**。**在pH为6. 0〜&0时2N3的降解 效果较高，表明2N3对噻吩磺隆进行生物降解时的 pH 范围较宽**。**

1.0%，培养24 h后2N3对噻吩磺隆的降解率分别 为7617%，84．91%，90．41%，78．32% 和5901%。 当无机盐中的NaCl体积分数为0. 3%时，经24 h 培养降解后无机盐中的噻吩磺隆质量浓度最低。当 NaCl体积分数从0. 3%升高至1. 0%时，菌株2N3 的生长受到了一定的抑制,OD600显著降低，噻吩磺 隆的降解率也有所下降。

2 3 2N3 对土壤中噻吩磺隆的降解效果

从图 6 可以看出， 在 噻吩磺 隆质 量 浓 度 为 50 mg/L条件下，灭菌但不加2N3菌悬液的土壤，培养 20d 后 噻 吩磺 隆 的 降 解 率 为 39 23%；灭 菌 且加 2N3菌悬液的土壤，培养20 d后噻吩磺隆的降解率 为8737%， 这说明加入降解菌 2N3 后 可以大幅加 速噻吩磺隆的降解。



时间/dTime

♦ •灭菌土壤+曝吩磺隆;♦.未灭菌土壤+曝吩磺隆； 亠.灭菌土壤+2N3+®吩磺隆;■ •未灭菌土壤+2N3+曝吩磺隆 ♦ .Sterilized soil+thifensulfuron-methyl;

-•- .Non-sterilized soil+thifensulfuron-methyl; 亠.Sterilized soil+2N3+thifensulfuron-methyl;

■■■ Non-sterilized soil+2N3+thifensulfuron-methyl  
图6 2N3对土壤中噻吩磺隆的降解效果

Fig. 6 Effect of time on thifensulfuron-methyl  
degradation in soil by strain 2N3

而对未灭菌且不加 2N3 菌悬液的土壤而言， 培 养20 d后噻吩磺隆降解率为64. 02% ；未灭菌且加 2N3菌悬液的土壤，20 d后噻吩磺隆的降解率为 96 03%。由此可以看出，接入外源降解 菌 2N3 可 提高土壤中噻吩磺隆的降解速率，且无论是否加入 外源微生物，未灭菌土壤中噻吩磺隆的降解速率始 终较灭菌土壤快。这与 李晓楼等［**17**］的 研究结果一 致。可能是因为未灭菌土壤中含有大量微生物，这 些微生物也参与了噻吩磺隆的降解［**28**-**31**］，土壤微生 物与降解菌2N3以协同作用的方式降解噻吩磺隆， 从而提高了土壤中噻吩磺隆的降解率。

3 结 论

1）吉林克雷伯氏菌 2N3 菌 株能以噻吩磺隆为 唯一氮源进行生长。2N3降解噻吩磺隆的最优条件 为 ：噻 吩 磺 隆 初 始 质 量 浓 度 为 50 mg/L， pH 7 0 ， 2N3 接菌 量 为 5% (体 积 分 数)， 降 解 温度 30 C， NaCl 体积分数为03%。

2)吉林克雷伯氏菌 2N3 菌株对土壤中的噻吩 磺隆 具 有 较 好 的 降 解 能 力， 最 高 降 解 率 可 达 9603%。无论是灭 菌 土 壤 还是 未 灭 菌 土 壤， 加 入 2N3 均可以加速噻吩磺隆的降解， 并且未灭菌土壤 中噻吩磺隆的降解率高于灭菌土壤。

[参考文献]

1. 王义生，徐 研，董珈奇，等 噻吩磺隆对苘麻的活性测定及对 大豆的选择性试验[J].东北农业科学,2017,42(4):27-29.

Wang Y S,Xu Y,Dong J Q，t al. Test of activty of thilensul- furon-methyl on abutilon theophrasti medic and selective test on soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2017，42(4)：27-29

1. Konstantinovic B, Samardzic N, Konstantinovic B,et al. Weed controlinsoybeancropsbyapplicationofsomeherbicides [J] Acta Chirurgica Iugoslavica,013,60(3) : 13-16.
2. 袁 雪，黄兆峰，黄红娟，等 黑龙江省反枝苋对噻吩磺隆的抗 性水平及其分子机制 [J] 植物保护学报，2017，44(3):527- 528

YuanX，HuangZF，Huang HJ，etal Resistancelevelofredroot pigweed *ArnaranLhus reLroflexus* L. to thilensufuron-methylin Heilongjiang Province and its molecular resistance mechanism [J] JournalofPlantProtection，2017，44(3):527-528

1. A**l**an J C，David B D，Jonathan B，et al Persistenceofthesul- fonylurea herbicides thifensulfuron-methyl，ethametsulfuron- methyl，and metsulfuron-methylinfarmdugouts (Ponds)[J] JournalofEnvironmentalQuality，2006，35(6):2395-2401
2. 李 影，付 颖，叶 非 微生物降解磺酰脲类除草剂的研究进 展 [J] 农药科学与管理，2013，34(2):19-23

LiY，Fu Y，YeF Researchprogressonbioremediationofsul- fonylureaherbicides [J] PesticideScienceandAdministration， 2013，34(2):19-23

1. ZhouS，HuaX W，WeiW，etal Researchoncontro**l**abledeg- radation of novel sulfonylurea herbicides in acidic and alkaline- soils [J] JournalofAgriculturalandFoodChemistry，2017，65 (35):7661-7668
2. 熊兴明，黎 理，刘春来，等 噻吩磺隆在小麦和土壤中的残留 降解动态研究 [J] 湖南农业大学学报，2009，35(1):104-106， 110

Xiong X M, Li L, Liu C L, et al. On residue degradation of thifensulfuron-methylinwheatandsoil [J] Journalof Hunan Agricultural University, 2009,35(1) : 104-106,110.

1. Snam R,Sarigul T,Giilerman EZ,t al. Polarographic determi- nationofherbicidethifensulfuron methyl/applicationtoagro- chemical pesticide, soil, and fruit juice [J]. International Jour- nalof Environmental Analytical Chemistry,2006,86 (15):

1135-1149.

「9]李新安，赵华，李广领，等•噻吩磺隆在不同类型土壤中的降 解行为:农药，2012,51(1):55-57.

Li X A,Zhao II, Li G L,et al. Degradation behavior o! thilen- sulluron-methy in the different soils [J]. Agrochemical, 2012, 51 (1 ):55-57．

「10] Brown II M,Joshi M M, Van A T,et al. Degradation ol thifen- suluron methyl in soil: role ol microbial carboxyesterase ac­tivity [J]. Journal ol Agricultural & Food Chemistry, 1997, 45(3) ：55-961.

「11] Zhang J P,Xu Y C, Liang S,et al. Synergistic elect ol *Klebsiel - la* sp. FII-1 and *ArLhrobacLer* sp. NJ-1 on thegrowth ol the microbiota in the black soil ol Northeast China [J]. Ecotoxi­cology and Environmental Safety,2019,190(3) ： 110079.

「12] Hang B J , Hong Q, Xie X T, et al. SulE,a sulfonylurea herbi­cide de-esterilication esterase lrom *Ilansschlegelia zhihuaiae* S113「J]. Applied and Environmental Microbiology, 2012,78 (6)：1962-1968.

「13] Wang J, Li X Y, Li X, et al. Dynamic changes in microbial communitiesduring the bioremediation ol herbicide (chlo- rimuron-ethyl and atrazine) contaminated soils by combined degrading bacteria [J]. PLoS One, 2018,13(4) : e0194753.

「14] 黄 星，何 健，潘继杰，等.噻吩磺隆降解菌FLX的分离鉴 定及降解特性 「J] 中国环境科学，2006，26(2):214-218．

IuangX, IeJ,PanJJ,etal Separationidentilication and degradationcharacteristicsolthilensulluron-methyldegrada- tionbacteriaFLX 「J] ChinaEnvironmentalScience,2006,26 (2):214-218．

「15] Wang N X,Tang Q,AiG M,etalBiodegradationoltribenu- ron methylthatis mediated by microbialacidohydrolysisat ce**l**-soilinterlace 「J ]．Chemosphere,2012, 86 (11 ): 1098- 1105．

「16] ZhangJJ,Chen Y F,Fang T,etal Co-metabolicdegradation ol tribenuron methyl, a sulfonylurea herbicide, by *Pseudo­monas* sp. strain NyZ42 [J]. International Biodeterioration & Biodegradation 2013，76:36-40.

「17] 李晓楼，赵 燕.1株噻吩磺隆降解菌*(Psudomonas syringae* LXL-3)的分离及降解特性[].江苏农业科学，2016,44(1)： 369-372．

LiX L,ZhaoY．Isolationanddegradationcharacteristicsola thiolsulluron-degradingstrain (*Pseudomonas syringae* LXL- 3)「J] Jiangsu AgriculturalSciences,2016,44(1):369-372．

「18] Zhao W S,XuL,QiuL I,etalIsolationandcharacterization of a thilensuluron-methyldegrading strain *Staphylococcus* sp.andthedegradationpathwaysolTSM 「J].ActaScientiae Circumstantiae,2017,37(2):585-595.

「19] Zhao W S,WangC,XuL,etal.Biodegradationolnicosulluron by a novel *AlcaLigenss faecaUs* strain ZWS11 [J]. Journal of EnvironmentalSciences,2015,35:151-162.

[20] Bhattacharjee A K,Dureja R. Light-induced transformation of tribenuron-methylonglass,soil,andplantsurface 「J].Journal ofEnvironmentalScienceandIealth,PartB: Pesticides,Food Contaminants,and Agricultural Wastes,2002,37 (2):131- 140.

「21] SiY B,WangS Q,ZhouJ,etal.Leachinganddegradationof ethametsulfuron-methylin soil 「J].Chemosphere,2005,60 (5):601-609.

「22] Iuang X,IeJ,SunJQ,etal.Isolationandcharacterization

of a metsufuron-methyl degrading bacterium *M.elhylopila* sp. S113 「J].International Biodeterioration ＆ Biodegradation, 2007,60(3):152-158.

「23] Zhao W S, WangC,XuL,etal.Biodegradationofnicosulfuron byanovel*A ca igenes faeca is* strainZWS11 「J].Journalof EnvironmentalSciences,2015,35:151-162.

「4]张文花，王国林.氯嘧磺隆高效降解菌2N3的生长特性研究 「J]. 吉林农业科学,2012,37(5):45-47.

Zhang W I, Wang G L.Studiesongrowthcharacteristicsof highly e**f**icient degrading strain 2N3 of chlorimuron-ethyl 「J].JournalofJilinAgriculturalSciences,2012,37(5):45-47.

「25] Zhang I,Zhang X, Mu W,etal.Biodegradationofchlorimu- ron-ethyl by the bacterium *Klebsiella jilinsis* 2N3 [J]. Jour- nalofEnvironmentalScienceand Iealth,PartB:Pesticides, Food Contaminants,and Agricultural Wastes,2010,45 (6): 501-507．

「26] 程 燕，杨 柳，赵 波，等.SPE-IPLC法检测噻吩磺隆在北 京棕壤土中的消解 「J] 北京农学院学报,2015(4):69-73． ChengY,YangL,ZhaoB,etalSPE-IPLC methodforthede- terminationofthifensulfuron-methylinbrownsoilin Beijing 「J] JournalofBeijing AgriculturalCo**l**ege,2015(4):69-73．

「27] 程 燕．小麦-玉米轮作下土壤中噻吩磺隆、苄嘧磺隆消解动 态研究 「D] 北京:北京农学院,2016．

Cheng Y．Theresearch on the degradation ofbensulfuron- methyland thifensulfuron-methylin brown siolin winter wheat-maizerotationsystem 「D] Beijing:BeijingAgricultural Co**l**ege ,2016．

「28] ZhouS,SongJ,Dong W,etal Nicosulfuronbiodegradationby a novel cold-adapted strain *Oceanisphaera psychrololerans* LAM-WIM-ZC 「J] JournalofAgriculturalandFoodChem- istry,2017,65(47):10243-10249．

「29] LauraD M,Pehr A．Organic amendments from olive cake as a strategyto modifythedegradationofsulfonylureaherbicides insoil 「J] JournalofAgriculturalandFoodChemistry,2007, 55(15):6213-6220．

「30] 李晓楼．中等强度盐胁迫下噻吩磺隆对土壤微生物及土壤酶 活性的影响 「J] 江苏农业科学,2017,45(13):86-89．

LiX L．E**f**ectsofthifensulfuron-methylonsoil microorgan- ismsandsoilenzymeactivitiesundermoderatesaltstress 「J]． Jiangsu AgriculturalScience,2017,45(13):86-89．

「31] 李晓楼．噻吩磺隆在农业上的应用及其微生物降解研究进展 「J] 兰州文理学院学报(自然科学版),2016,30(5):47-50． LiX L．Applications ofthifensulfuronmethylin agriculture andtheresearchprogresson microbialdegradation 「J] Jour­nal of Lanzhou Universty of Arts and Science (Natural Sci- encesEdition),2016,30(5):47-50．