

复合菌对大豆田土壤中氯嘧磺隆降解的研究

陶 波,王 欢,高世杰

(东北农业大学 农学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:采用高效液相色谱法,系统研究了不同降解菌及其多元混配在土壤中对氯嘧磺隆的降解作用。结果表明:真菌黑曲霉、青霉、F8 和 F31 酿酒酵母在土壤中对氯嘧磺隆的降解速度存在显著差异,而且均能加快氯嘧磺隆的降解速度,其降解能力黑曲霉 > F31 > 青霉 > F8。黑曲霉分别和青霉、F8、F31 混合后,各处理间差异显著,并且随着黑曲霉比例的增加,对土壤中除草剂的降解能力明显增强,其中 F31 和黑曲霉混合后效果最佳,降解率可达 86.43%。对降解菌进行三元混配后发现,在二元复合的基础上添加少量青霉可进一步提高降解能力。

关键词:氯嘧磺隆;大豆;高效液相色谱法;微生物降解;复合多元

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.05.0855

Study on Degradation Characteristics of Composite Fungi to Degrading Herbicide Chlorimuron-ethyl

TAO Bo, WANG Huan, GAO Shi-jie

(Agronomy College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In this paper, a high performance liquid chromatography method was established for determination of the degradation rates of chlorimuron-ethyl. The biodegradation of herbicide chlorimuron-ethyl in the soil by different strains was researched systematically. The results showed that the degradation rates of herbicide chlorimuron-ethyl by *Aspergillus niger*, *Penicillium*, F8 and F31 were significantly different in the soil. The herbicide chlorimuron-ethyl could be degraded effectively by all these four strains. The degradation ability was *Aspergillus niger* > F31 > *Penicillium* > F8. The degradation rates of herbicide chlorimuron-ethyl by *Aspergillus niger* respectively mixed with *Penicillium*, F8 and F31 were significantly different. With the increase of proportion of *Aspergillus niger*, herbicide degradation ability was significantly enhanced. The F31 and *Aspergillus niger* blend was the best combination and the degradation rate reached 86.43%. On the basis of binary mixture, addition of a small amount of *Penicillium* could further improve the ability of degradation.

Keywords: Chlorimuron-ethyl; Soybean; HPLC; Microbial degradation; Composite multivariate

氯嘧磺隆(chlorimuron-ethyl)是 20 世纪 80 年代美国杜邦公司开发的一种磺酰胺类除草剂,属内吸传导型选择性除草剂,在土壤中主要通过水解和微生物降解作用消失^[1-2]。在酸性土壤中,磺酰胺类除草剂以水解为主,土壤微生物对水解产物中的苯环发生作用,使其降解为 CO₂。在碱性土壤中,水解作用显著下降,微生物降解起重要作用^[3,4]。大豆在我国有很大的种植面积,氯嘧磺隆是大豆田使用的主要除草剂之一,随着大面积的使用,其残留药害问题严重影响后茬作物的轮种和经济结构的调整,已成为亟待解决问题之一。

针对长残留除草剂残留对土壤环境造成的污染、对后茬敏感作物的伤害和杂草抗药性问题,国内外科研工作者已经筛选出了许多能够降解长残留除草剂的微生物。1985 年 Joshi 等发现青霉(*Penicillium* sp.)对氯磺隆有降解作用,之后微生物对农药的降解研究不断发展,沈东升等^[5]也发现霉菌可以加快甲磺隆的降解,刘辉等^[6]在 2003 年发

现,黑曲霉、青霉对豆磺隆残留有降解作用;宋艳宇^[7]分离出一株氯嘧磺隆高效降解菌,鉴定为克雷柏氏菌属;丁伟等^[8]分离出一株氯嘧磺隆降解菌 YW-1,鉴定为毛单胞菌(*Comamonas* sp.);陶波等^[9]分离、筛选出豆磺隆高效降解真菌 F8(*Saccharomyces cerevisiae*)、F31(*Saccharomyces cerevisiae*),经鉴定,F8、F31 均为酿酒酵母;王哲^[10]分离到一株氯嘧磺隆高效降解菌株属于假单胞菌属(*Pseudomonas* sp.);2009 年,关靓^[11]分离出氯嘧磺隆的高效降解细菌 1 株,将该菌株鉴定为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)。目前的研究结果大多集中于降解菌的分离、筛选及培养条件的优化,并且多数是在培养基或水体中降解的影响。关于复合菌对土壤中除草剂残留的降解至今未见报道。本研究利用已确定的对土壤中除草剂具有降解能力的 4 种菌株,采用复合混配的方法系统的研究了复合菌在土壤中对氯嘧磺隆的降解作用,以便为降解菌在田间的应用提供理论依据。

1 材与方法

1.1 材料

1.1.1 供试土壤 土壤从东北农业大学校园内采集,土壤经风干过筛(2 mm)备用。土壤基本性质如下:土壤为黑土,pH6.75,有机质含量41.7 g·kg⁻¹,全氮含量0.185%,全磷含量0.54%,速效氮含量

155 mg·kg⁻¹,速效磷含量95.5 mg·kg⁻¹,速效钾含量235.9 mg·kg⁻¹。
1.1.2 供试菌种 东北农业大学农药学教研室分离、保存的降解菌株:黑曲霉(*A. niger*),青霉(*P. sp*),F8(*Saccharomyces cerevisiae*),F31(*Saccharomyces cerevisiae*)。
1.1.3 供试培养基 培养基配方详见表1。

表1 供试培养基配方
Tab1 Tested medium formula

培养基配方 Medium formula	
黑曲霉和青霉 <i>A. niger</i> and <i>Penicillium</i>	蛋白胨0.5%、葡萄糖3%、NaNO ₃ 0.3%、KCl0.05%、MgSO ₄ 0.05%、K ₂ HPO ₄ 0.1%
F8	葡萄糖3%、蛋白胨2%、KH ₂ PO ₄ 0.05%、MgSO ₄ 0.05%、NaCl0.05%
F31	麦麸1%、豆粕2%、CaCl ₂ 0.5%、MgSO ₄ 0.05%、FeSO ₄ 0.05%
PDA	20%马铃薯浸出液1 000 mL、葡萄糖20 g、琼脂20 g

1.1.4 药品与试剂 氯嘧磺隆20%可湿性粉剂(大连瑞泽农药有限公司)、色谱纯甲醇、超纯水、蒸馏水、氯仿、水硫酸钠、石油醚及丙酮等。

1.2 试验方法

1.2.1 孢子悬浮液的配置 取培养36 h的供试菌种菌液滤去菌丝,将滤液经4 000 r·min⁻¹离心10 min后,取其沉淀物加无菌水稀释菌液,充分搅拌后用血球计数板计数,将孢子悬浮液浓度稀释成1.6×10⁶孢子·mL⁻¹,以此菌株浓度作为以后试验的菌液浓度。

1.2.2 不同菌株对氯嘧磺隆的降解作用 准确称取5 mg氯嘧磺隆20%可湿性粉剂,加入到1 kg供试土壤中,均匀混合配置成浓度为1 mg·kg⁻¹的氯嘧磺隆毒土,将已活化好的黑曲霉、青霉、F8、F31种子液按5,10,20 mL·kg⁻¹接种量混入氯嘧磺隆毒土中,混合均匀后装袋密封并埋于土壤0~15 cm的土层中,以未添加降解菌的氯嘧磺隆毒土为对照,每个处理设置3次重复,在0,1,3,7,15,30,60 d取各处理密封袋中土壤样品,利用高效液相色谱测定各土壤样品中氯嘧磺隆的浓度。

1.2.3 混合菌株对氯嘧磺隆的降解作用 氯嘧磺隆毒土配方同上,将上步试验中降解效果最好的菌株种子液分别与另外3种种子液两两组合,每种组合按7:3、5:5、3:7比例混合后按20 mL·kg⁻¹接种量混入氯嘧磺隆毒土中,混匀后装袋密封并埋于土壤0~15 cm的土层中,每组处理设置3次重复,在0,1,3,7,15,30,60 d取各处理密封袋中土壤样品,利用高效液相色谱测定各土壤样品中氯嘧磺隆的浓度,并筛选出降解氯嘧磺隆效果最佳的菌种组合及配比(A)。

在A的基础上,将菌种组合A与其他两种降解菌分别按7:3、5:5、3:7混合后按20 mL·kg⁻¹接种量混入氯嘧磺隆毒土中,试验方法同上筛选出降解氯嘧磺隆效果最佳的菌种组合及配比(B)。最后在B的基础上,将菌种组合B与第四种降解菌按上述比例和条件进行试验,观察其添加是否在B的基础上进一步提高降解效果。

1.2.4 氯嘧磺隆土壤样品前处理 称取土壤样品20 g,分别加入3×20 mL氯仿,用快速溶剂萃取仪提取3次,提取时间分别为30,20,15 min,合并提取液,50℃下旋转蒸发浓缩,弃去氯仿,用氮气吹干并用甲醇定容至1 mL,待柱层析纯化。样品净化:C18小柱先用5 mL。

用直径1.5 cm层析柱,下端加5 g层析硅胶(预先经过活化处理),上端加1 g无水硫酸钠,过柱前先用10 mL石油醚浸柱,用2×3 mL流动相超声清洗提取物,转移预淋过的硅胶柱中,用25 mL丙酮/石油醚混合液去杂,再用35 mL乙腈洗脱样品,收集洗脱液,在40℃下旋转蒸发浓缩,经氮气吹干,用流动相准确定容2 mL上机测定。

1.2.5 仪器分析色谱条件 液相色谱采用Agilent-ZORBAXSB-C18色谱柱(150×4.6 mm,5.0 μm)不锈钢柱,柱温:常温,流速为1.0 mL·min⁻¹,紫外检测波长为246 nm,进样体积20 μL,流动相:甲醇:水=8:2,保留时间:6.14 min。

1.2.6 标准曲线绘制 以氯嘧磺隆的浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,绘制标准曲线(图1)。得到回归方程 $y = 28\,067x - 302.68$,相关系数为 $r = 0.999$ 。结果表明:氯嘧磺隆在0~10.0 mg·L⁻¹范围内具有良好的线性关系。

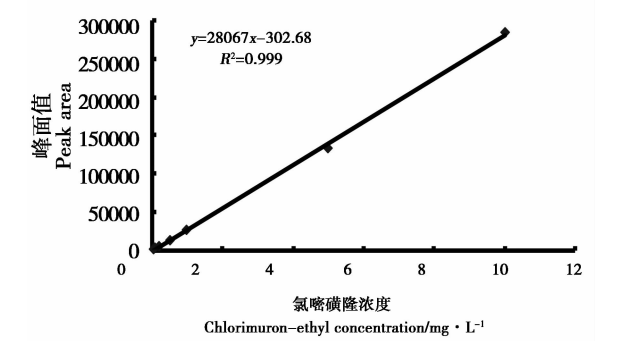


图 1 氯嘧磺隆标准曲线

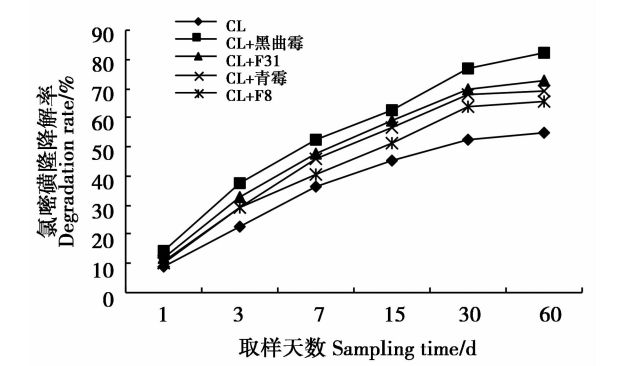
Fig. 1 The standard curve of chlorimuron-ethyl

2 结果与分析

2.1 不同降解菌对土壤中氯嘧磺隆降解规律的影响

不同降解菌对氯嘧磺隆的降解速度存在显著差异,而且均能加快氯嘧磺隆的降解速度;4 种降解菌相比,其降解能力黑曲霉 > F31 > 青霉 > F8。由图 2 可以看出,在前期,4 种降解菌对土壤中氯嘧磺隆的降解能力差异较小,随着时间的增加,土壤中氯嘧磺隆浓度差值逐渐增大;在 60 d 时,黑曲霉、F31、青霉、F8 的降解率分别为 82.35%、72.76%、

69.16%、65.52%, 分别比对照高 27.62%、18.03%、14.43%、10.79%。



CL 表示无降解菌添加的氯嘧磺隆处理,下同。
CL indicated chlorimuron-ethyl without *A. niger*, the same below.

图 2 不同降解菌对土壤中氯嘧磺隆降解的影响
Fig. 2 The influence of different degrading bacteria on the degradation of chlorimuron-ethyl in the soil

由表 2 可以看出,氯嘧磺隆 1 mg·kg⁻¹ 的处理其半衰期 38.84 d,土壤中加入黑曲霉、青霉、F8、F31 后,氯嘧磺隆的半衰期分别缩短到 15.64,18.78,23.65,17.54 d,分别比氯嘧磺隆自然降解缩短 23.2,20.06,15.19,21.3 d。

表 2 降解菌与氯嘧磺隆土壤降解动力学

Table 2 Kinetics date of Chlorimuron-ethyl in soil by adding degrading bacteria

处理 Treatment	降解的力学方程 Degradation mechanical equation	相关系数 R ²	降解常数 Degradation constant /k·10 ² h	半衰期 Half-life T _{1/2} /h
CL	Ct = 0.746e ^{-0.0103t}	0.9748	0.0103	38.84 aA
CL + 黑曲霉 5 mL·kg ⁻¹	Ct = 0.7475e ^{-0.0176t}	0.9403	0.0176	22.84 bB
CL + 黑曲霉 10 mL·kg ⁻¹	Ct = 0.7143e ^{-0.0195t}	0.9742	0.0195	18.29 cC
CL + 黑曲霉 20 mL·kg ⁻¹	Ct = 0.6332e ^{-0.0245t}	0.8278	0.0245	15.64 dD
CL + 青霉 20 mL·kg ⁻¹	Ct = 0.6766e ^{-0.0161t}	0.9765	0.0161	18.78 cC
CL + F8 20 mL·kg ⁻¹	Ct = 0.7063e ^{-0.0146t}	0.9826	0.0146	23.65 bB
CL + F31 20 mL·kg ⁻¹	Ct = 0.6583e ^{-0.0177t}	0.8795	0.0177	17.54 cC

2.2 降解菌复合混配对土壤中氯嘧磺隆降解的影响

2.2.1 降解菌二元复合 由图 3 可知,黑曲霉、F31 复合使用后各处理对氯嘧磺隆降解效影响显著,两者混合后,降解速度高于黑曲霉、F31 单独使用,并且黑曲霉比例越大,效果越明显。黑曲霉和 F31 的比例为 7:3、5:5、3:7,在 60 d 时不同混合比例的处理降解率分别为 86.43%、76.55%、70.13%,比对照高 31.7%、21.82%、15.4%。由表 3 可知,黑曲霉和 F31 的比例为 7:3、5:5、3:7 时的半衰期分别为 15.15,19.13,20.02 d。

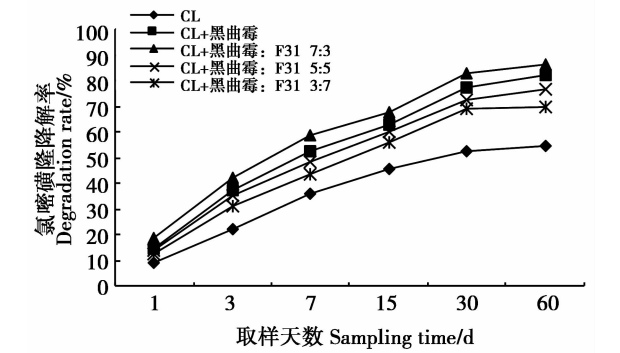


图 3 黑曲霉、F31 复合使用对土壤中氯嘧磺隆降解动态的影响
Fig. 3 The influence of mixed *A. niger* with F31 on the degradation of chlorimuron-ethyl in the soil

由表 3 可知,黑曲霉分别与青霉、F8、F31 三种降解菌混合后,不同混合比例、不同菌种发酵液混合对氯嘧磺隆的降解差异显著,其中黑曲霉和 F31

混合比例为 7:3 时氯嘧磺隆的降解速率最快,半衰期为15.15 d;黑曲霉与青霉、F8 混合后降解能力有所降低。

表 3 降解菌复合使用与氯嘧磺隆土壤降解动力学

Table 3 Kinetics date of chlorimuron-ethyl in soil by adding mixed degrading bacteria

处理 Treatment	降解的力学方程 Degradation mechanical equation	相关系数 R^2	降解常数 Degradation constant / $k \cdot 10^2 h$	半衰期 Half-life $T_{1/2}/h$
CL	$C_t = 0.746e^{-0.0103t}$	0.9748	0.0103	38.84 aA
CL + 黑曲霉 20 mL·kg ⁻¹	$C_t = 0.6766e^{-0.0161t}$	0.9765	0.0161	18.64 cC
CL + 黑曲霉: 青霉(7:3)	$C_t = 0.6473e^{-0.0226t}$	0.8413	0.0226	19.45 cC
CL + 黑曲霉: 青霉(5:5)	$C_t = 0.6639e^{-0.0202t}$	0.8975	0.0202	20.49 cC
CL + 黑曲霉: 青霉(3:7)	$C_t = 0.6924e^{-0.0141t}$	0.8881	0.0141	23.09 cC
CL + 黑曲霉: F31(7:3)	$C_t = 0.5775e^{-0.028t}$	0.8275	0.0280	15.15 dD
CL + 黑曲霉: F31(5:5)	$C_t = 0.6502e^{-0.02t}$	0.8523	0.0200	19.13 cC
CL + 黑曲霉: F31 (3:7)	$C_t = 0.6743e^{-0.0166t}$	0.8345	0.0166	20.02 cC
CL + 黑曲霉: F8 (7:3)	$C_t = 0.6396e^{-0.016t}$	0.8275	0.0160	21.39 cC
CL + 黑曲霉: F8 (5:5)	$C_t = 0.673e^{-0.0147t}$	0.8523	0.0147	22.21 cC
CL + 黑曲霉: F8 (3:7)	$C_t = 0.7153e^{-0.0136t}$	0.7762	0.0136	26.33 bB

同列数值后不同大小写字母分别代表 0.01 和 0.05 水平差异显著;下同。
The values in the same column followed by different capital or lowercase letters indicate significant difference at 0.01 and 0.05 probability lever, respectively; The same below.

2.2.2 降解菌三元复合 降解菌黑曲霉与 F31 比例为7:3时的组合为 A,将其与青霉、F8 分别以 7:3、5:5、3:7的比例混合。由图 4 可以看出,A 中添加少量的青霉可以提高 A 对氯嘧磺隆的降解速度,随着青霉添加比例的增加,其降解效果有所降低。A 与青霉混合比例为 7:3、5:5、3:7 的降解率分别为 90.0%、79.04%、76.08%,比对照高 35.27%、24.31%、21.35%。

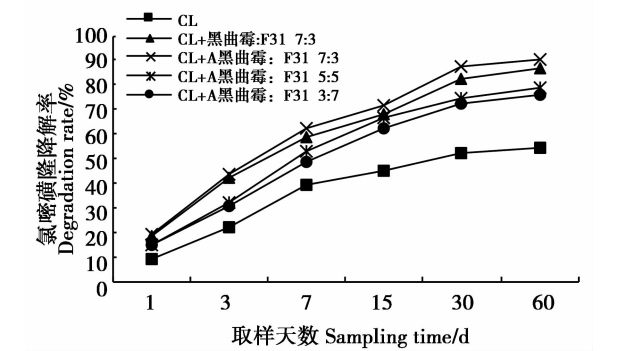


图 4 降解菌三菌复合对氯嘧磺隆降解的影响

Fig. 4 The influence of mixed A with *P. sp* on the degradation of chlorimuron-ethyl in the soil

由图 5 可以看出,A 配方中添加 F8 后降解能力有所下降,随着 F8 添加量的增加,降解能力逐渐降

低。在第 60 天时各处理间氯嘧磺隆的浓度相差最大,与 F8 混合比例为 7:3、5:5、3:7 的降解率分别为 76.47%、71.16%、65.85%,比对照高 21.74%、16.43%、11.12%。

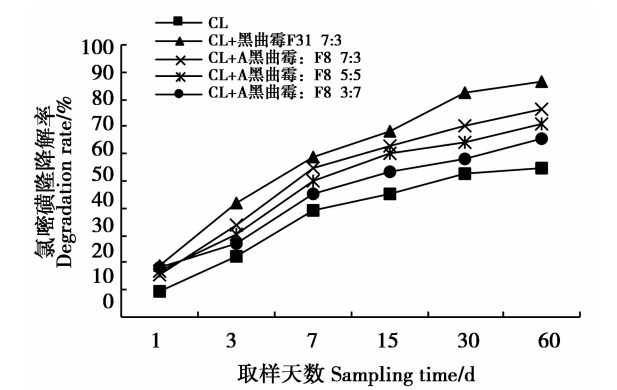


图 5 降解菌三菌复合对氯嘧磺隆降解的影响

Fig. 5 The influence of mixed A formula with F8 on the degradationof chlorimuron-ethyl in the soil

从表 4 得知,A 与青霉混合比例为 7:3、5:5、3:7 时半衰期分别为 13.84、16.06、17.35 d,只有 A 与青霉混合比例为 7:3 时期半衰期比 A 单用缩短 1.31 d,此配比组合定义为 B。

表4 降解菌三菌复合降解动力学方程

Table 4 Kinetics date of chlorimuron-ethyl in soil by adding mixed degrading bacteria

处理 Treatment	降解的力学方程 Degradation mechanical equation	相关系数 R^2	降解常数 Degradation constant / $k \cdot 10^2 h$	半衰期 Half-life $T_{1/2}/h$
CL	$C_t = 0.746e^{-0.0103t}$	0.9748	0.0103	38.84 aA
CL + A	$C_t = 0.5775e^{-0.028t}$	0.8275	0.0280	15.15 cC
CL + A: 青霉 (7:3)	$C_t = 0.5545e^{-0.0335t}$	0.9590	0.0335	13.84 dD
CL + A: 青霉 (5:5)	$C_t = 0.6213e^{-0.0216t}$	0.9727	0.0216	16.06 bB
CL + A: 青霉 (3:7)	$C_t = 0.6513e^{-0.0198t}$	0.9835	0.0198	17.35 bB
CL + A: F8 (7:3)	$C_t = 0.6227e^{-0.0189t}$	0.9565	0.0189	18.83bB
CL + A: F8 (5:5)	$C_t = 0.6456e^{-0.0156t}$	0.9722	0.0156	21.01 bB
CL + A: F8 (3:7)	$C_t = 0.6803e^{-0.0131t}$	0.9861	0.0131	23.51 bB

2.2.3 降解菌四菌复合 由图6可以看出,降解菌三菌复合筛选出最优比例 B(A: 青霉 = 7:3), 将其与 F8 以 7:3、5:5、3:7 的比例混合,随着 F8 比例的增加,其降解能力有所下降。在第 60 天时,B 与 F8 混合比例为 7:3、5:5、3:7 的降解率分别为 75.36%、70.94%、67.85%, 比对照高 20.63%、16.21%、13.12%。

由表5可知,降解菌四元复合后可以缩短氯嘧磺隆在土壤中的半衰期,不加降解菌时的半衰期为 38.84 天,添加不同比例的混合菌后缩短到 28.9、19.3、16.1 d,比氯嘧磺隆自然降解的半衰期缩短了 9.94、19.54、22.74 d。其中 F8 所占比例最小的时候降解能力最强,半衰期缩短最大。

表5 降解菌四菌复合降解动力学方程

Table 5 Kinetics date of chlorimuron-ethyl in soil by adding mixed degrading bacteria

处理 Treatment	降解的力学方程 Degradation mechanical equation	相关系数 R^2	降解常数 Degradation constant / $k \cdot 10^2 h$	半衰期 Half-life $T_{1/2}/h$
CL	$C_t = 0.746e^{-0.0103t}$	0.9748	0.0103	38.84 aA
CL + B	$C_t = 0.5545e^{-0.0335t}$	0.959	0.0335	13.84 dD
CL + B: F8 (7:3)	$C_t = 0.6391e^{-0.0152t}$	0.9847	0.0152	16.1 cC
CL + B: F8 (5:5)	$C_t = 0.6436e^{-0.0131t}$	0.9861	0.131	19.3 cC
CL + B: F8 (3:7)	$C_t = 0.6207e^{-0.0181t}$	0.9746	0.0181	28.9 bB

综上所述,降解菌单用、二元混用和多元混用均可显著提高氯嘧磺隆在土壤中的降解能力,不同混合比例和配比之间有所差别。在前期各处理之间降解率差异较小,从 15 d 开始降解率之间的差别越来越大,并随着时间的增加其差别逐渐增大,在第 60 天时,菌种组合 B 的降解能力最强,各处理降解能力:B > A > 黑曲霉 > B + F8。

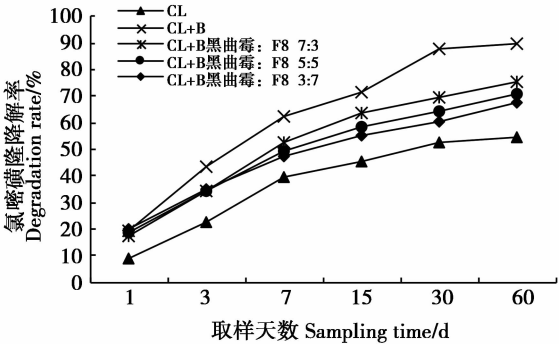


图6 降解菌四菌复合对氯嘧磺隆降解的影响

Fig.6 The influence of mixed B formula with F8 on the degradation of chlorimuron-ethyl in the soil

3 讨论

随着人们对环境保护意识的逐年增强及生物技术的迅猛发展,应用微生物进行生物修复已成为环境修复的一个重要内容。迄今为止,研究人员已从土壤、污泥、污水、天然水体等中分离到降解不同农药的活性微生物。长残留除草剂污染土壤的生

物修复已成为国内外研究的热点。针对磺酰脲类除草剂残留对土壤环境造成的污染、对后茬敏感作物的伤害和杂草抗药性问题^[12],国内外科研工作者已经筛选出了许多能够降解磺酰脲类除草剂的微生物。生物降解菌来源于土壤,是纯生物制品,在解决长残留除草剂药害的同时,对环境无污染,符合环保要求。应用微生物降解菌来降解残留农药是一个切实可行的途径。

目前,对降解菌的研究都是采用传统方法分离、筛选,基本上都采用单一菌种,并且大部分研究都集中在对除草剂降解能力及活性保持方面的研究,而复合菌株的研究仅有邹月利等^[1]在水中二元复配对氯嘧磺隆的降解作用的报道,而本研究在土壤中研究了不同菌多元混配及配比对氯嘧磺隆降解的影响。其结果表明:黑曲霉与其他菌株的三元混配即黑曲霉 + F31 + 青霉为最好的降解组合。本研究发现降解菌多菌复合后有利于氯嘧磺隆降解,为降解菌在土壤中的直接应用提供了重要的理论依据。在被污染的土壤中,降解菌作为优势菌种具有较强的适应能力,可以更为迅速的形成功间竞争的平衡。虽然土壤修复中起决定性作用的是降解能力最强的菌种,但是同时选择多种高效降解菌可能会造成相互竞争或产生其他代谢物质,有利于保持菌种和微生物群落稳定性。

本研究结果表明使用降解菌后可明显缩短氯嘧磺隆在土壤中的半衰期,最佳处理缩短 25 d 左右,这与刘辉和滕春红等的研究结果相符^[6,9],前人只研究了单个降解菌对氯嘧磺隆的降解特性,而本研究进一步探讨了降解菌混合使用对长残留除草剂的降解特性,这些都将为降解菌及降解菌剂的田间应用提供可靠的依据。

4 结 论

不同降解菌对氯嘧磺隆的降解速度存在显著差异,而且均能加快氯嘧磺隆的降解速度;四种降解菌相比,其降解能力:黑曲霉 > F31 > 青霉 > F8。半衰期分别为 15.64,17.54,18.78,23.65 d,分别比氯嘧磺隆自然降解缩短 23.2,21.3,20.06,15.19 d。

黑曲霉分别和青霉、F8、F31 二元混合后,各处理间差异显著,并且随着黑曲霉比例的增加降解能力有所提高。其中黑曲霉和 F31 混合后效果最佳,在二菌混合的基础上添加少量青霉三元混配可进一步提高其降解能力,降解率可达 90%。

参考文献

[1] 邹月利,陶波. 除草剂降解真菌对氯嘧磺隆的降解作用[J].

土壤通报,2013(6):1445-1448. (Zou Y L,Tao B. Research on the effects of different strains on the degradation of herbicide chlorimuron-ethyl[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2013(6): 1445-1448.)

[2] 滕春红,陶波,赵世君. 高效降解真菌对大豆田除草剂氯嘧磺隆的降解特性研究[J]. 大豆科学,2006,25(1):58-61. (Teng C H, Tao B, Zhao S J. Study on degradation characteristics of fungi F8 to degrading herbicide chlorimuron-ethyl[J]. Soybean Science,2006,25(1):58-61.)

[3] Matocha M A, Kruta L J, Reddy K N, et al. Foliarwashoff potential and simulated surface runoff losses of trifloxysulfuron in cotton [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006,54(15): 5498-5502.

[4] 闻长虹. 磺酰脲类除草剂的微生物降解与转化[J]. 池州师专学报,2004,18(5):43-45. (Wen C H. The Microbial degradation and transformation of sulfonylurea herbicides [J]. Journal of Chizhou Teachers College,2004,18(5):43-45.)

[5] 沈东升,方程冉,周旭辉. 土壤中降解甲磺隆除草剂的微生物的分离与筛选[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2002(3):186-189. (Shen D S,Fang C R,Zhou X H. Isolation and selection of microorganism degrading metsulfuron-methyl herbicide in soil[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science),2002(3):186-189.)

[6] 刘辉. 霉菌对磺酰脲除草剂残留解毒效应的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2003. (Liu H. Effect of *Asperilla* on the detoxification of sulfonylurea herbicide[D]. Harbin: Northeast Agricultural University,2003.)

[7] 宋艳宇. 氯嘧磺隆在大豆田的残留动态及其降解菌的特性研究[D]. 长春:吉林农业大学,2006. (Song Y Y. The residual dynamics in soybean,soilandisolation,identification of chlorimuron ethyl-degrading strain[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2006.)

[8] 丁伟,杨薇,白赫,等. 长残留除草剂氯嘧磺隆降解菌的筛选、鉴定和降解特性[J]. 作物杂志,2007(4):88-91. (Ding W, Yang W, Bai H, et al. The Screening, identification and degradation characteristics of long residual herbicide chlorimuron-ethyl [J]. Crops,2007(4):88-91.)

[9] 滕春红,陶波. 氯嘧磺隆高效降解真菌 F8 的分离和鉴定[J]. 土壤通报,2008(5):1160-1163. (Teng C H, Tao B. Isolation and identification of a fungi strain F8 capable of degrading chlorimuron-ethyl[J]. Chinese Journal of Soil Science,2008(5): 1160-1163.)

[10] 王哲,孙纪全,马吉平,等. 氯嘧磺隆降解菌株 LW-3 的分离及生物学特性研究[J]. 微生物学通报,2008(12):1899-1904. (Wang Z, Sun J Q, Ma J P, et al. Isolation of strain LW-3 capable of degrading chlorimuron-ethyl and its biological characteristics [J]. Microbiology China,2008(12):1899-1904.)

[11] 关靓,赵敏. 氯嘧磺隆高效降解菌的分离、鉴定及其降解特性[J]. 东北林业大学学报,2009(6):77-79. (Guan Y, Zhao M. Isolation and identification of highly efficient degradation bacteria chlorimuron-ethyl and its degradation characteristics[J]. Journal of Northeast Forestry University,2009(6):77-79.)

[12] 苏少泉. 我国除草剂造成作物的药害与预防[J]. 现代农药,2006,5(4):1-5. (Su S Q. Crop injury from herbicide and its prevention in China[J]. Modern Agrochemicals,2006,5(4):1-5.)