

降解菌 HQ-C-01 对克百威污染土壤的生物修复^①

杨 柳, 陈少华, 胡美英*, 郝卫宁

(华南农业大学天然农药与化学生物学教育部重点实验室, 广州 510642)

摘 要: 在室内模拟条件下, 研究了降解菌 HQ-C-01 (*Pichia anomala*) 对克百威污染土壤的修复作用及其影响因素, 同时研究了克百威及该菌株对土壤微生物的影响。结果表明, 克百威降解率与降解菌 HQ-C-01 接种量呈正相关, 降解菌接种量为 2.09×10^8 CFU/g 干土时, 对土壤中 50 mg/kg 克百威 10 天降解率达 82.89%; 当降解菌接种量低于 10^6 CFU/g 干土时, 降解菌对克百威的降解效果较弱。土壤含水量显著影响降解菌对克百威的降解率, 含水量为 600 g/kg 时降解效果最好, 降解率达 85.32%, 而当含水量低于 200 g/kg 时降解效果较差。在温度范围 25°C ~ 35°C 降解菌对克百威都具有较好的降解效果。不同土壤 pH 值对降解菌的降解作用有显著影响, 在 pH 值为 7 时, 降解菌对土壤中 50 mg/kg 克百威 10 天降解率达 85.62%, 在较低和较高 pH 值下, 降解效果较差。克百威使用对土壤菌落结构有一定的影响, 对土壤真菌具有强烈刺激作用, 从而使土壤微生物群落结构发生改变, 而降解菌的使用可缓解克百威对土壤微生物的影响, 修复受污染土壤。

关键词: 克百威; 降解菌 HQ-C-01; 生物修复; 环境因素; 土壤微生物

中图分类号: X172

克百威 (Carbofuran) 是一种高效、广谱内吸型杀虫剂, 作为氨基甲酸酯类的杀虫剂代表, 广泛用于水稻、棉花、小麦、玉米、大豆和甘蔗等作物。然而随着此类杀虫剂使用范围的不断扩大, 农药残留对土壤及地下水造成了不同程度的污染^[1]。通过自然界的富集和生物链进入生物体内, 严重危害人类的健康和生存环境^[2]。国际上规定单种氨基甲酸酯杀虫剂在谷物中的最高残留量 (MRL) 为 0.02 ~ 7.00 mg/kg, 饮用水中的 MRL 是 0.1 μg/L^[3]。并且克百威残留易被淋溶而直接进入环境, 致使环境污染严重^[4]。因此有效地控制克百威残留, 对缓解农产品、土壤及环境水的污染有重要意义。而生物修复是一种低成本的环境友好型去除污染物的方法^[5]。近年来国内外对克百威微生物降解的研究报道较多^[6-11]。国内在本领域的研究主要集中在环境中农药残留生物降解菌的筛选、降解特性研究等基础层面, 而应用方面的研究鲜有报道。本研究以实验室分离的高效克百威降解菌 HQ-C-01 为对象, 在实验室模拟条件下研究各种环境因子对其修复克百威污染土壤的影响, 同时研究克百威及降解菌的使用对土壤微生物的影响, 旨在为其在环境修复中的

应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试土壤 采自华南农业大学农场未施用过克百威农药土壤的表层 (0~15 cm), 土壤 pH 值 5.7, 有机质含量 36.934 g/kg, 总 N 0.649 g/kg, 总 P 0.936 g/kg, 总 K 19.841 g/kg, 含水量 383.1 g/kg。土壤过 5 mm 筛, 保湿储存 (每皿装土 0.1 kg, 用薄膜封口, 留有少许气孔, 以维持水分和通气量, 放在避光处), 以供后续使用。

1.1.2 菌液制备 菌株 HQ-C-01 属异常毕赤酵母 (*Pichia anomala*) 由华南农业大学胡美英教授课题组筛选保存。在 48 h 内对 50 mg/L 克百威降解率达到 95.2%。将分离得到的菌株 HQ-C-01 划线转接到添加克百威杀虫剂的基础培养基中驯化, 克百威添加浓度为 100、200、300、400、500 mg/L。将菌株接种到 NADY 培养基中, 26.8°C, 200 r/min 震荡培养至对数后期。将培养液 4°C, 8 000 r/s 离心, 收取菌体并用磷酸盐缓冲液洗涤 2 次。再用磷酸盐缓冲液重悬控制菌体浓度

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (30871660) 和广东省科技计划项目 (2009B020310005) 资助。

* 通讯作者 (humy@scau.edu.cn)

作者简介: 杨柳 (1985—), 男, 山东日照人, 硕士研究生, 研究方向为农药生物降解。E-mail: yangliuyingxiong@126.com

至所需浓度备用。

1.2 试验方法

1.2.1 土壤中克百威的提取及测定 准确称取 2 g 土样于 50 ml 玻璃离心管中, 加入 30 ml 二氯甲烷, 经振荡器振荡 5 min, 然后经超声波超声震荡 2 h, 6 000 r/s 离心, 收集上层液至 50 ml 圆底烧瓶, 并用二氯甲烷分 3 次洗剂下层土壤和离心管。经旋转蒸发仪在 50℃ 旋转蒸发至瓶底 1 ~ 2 ml 液体, 用分析甲醇分 3 次洗剂圆底烧瓶, 将洗液转移至 5 ml 刻度试管, 最后定容至 5 ml。用 10 ml 注射器吸取洗液过孔径 0.45 μm 的有机滤头, 将滤液收集至进样瓶, 以备测定。

高效液相色谱 (HPLC) 测定条件如下^[12]: 型号为 HP-1100, 色谱柱为 C18 反相柱 (ODS Hypersil 5 μm, 125 mm × 4 mm), 柱温为常温, 流动相为甲醇/水 = 55/45 (v/v), 检测波长为 275 nm, 流速为 1 ml/min, 进样量 10 μl。依此条件, 添加回收率测定结果表明, 当克百威添加质量浓度分别为 5 ~ 400 mg/L 时, 回收率都能达到 90% 以上, 提取和分析方法可信。

1.2.2 接种量对克百威降解的影响 将克百威原药按 10⁴ mg/L 的浓度配成甲醇溶液, 以 50 mg/kg 施用于供试土壤搅拌均匀。待溶剂挥发土样自然风干后加入不同浓度的菌液, 使土壤菌浓度为 0.47×10⁷、1.82×10⁷、5.76×10⁷、10.2×10⁷、20.9×10⁷、39.1×10⁷ CFU/g 干土, 以不接菌处理为对照, 每个处理 3 个重复。保持土壤湿度 600 g/kg 于 30℃ 生化培养箱中培养, 10 天后取样, 采用高效液相色谱法测定克百威含量。

1.2.3 农药初始浓度对克百威降解的影响 在准备好的土样中分别加入不同浓度克百威, 使其终浓度为 10、50、100、200 mg/kg, 混匀, 待溶剂挥发土样自然风干后, 每个处理接 10⁸ CFU/g 的菌液, 每个处理分别以添加相同浓度的农药且不接菌处理为对照, 每个处理 3 个重复, 控制土壤含水量为 600 g/kg, 于 30℃ 生化培养箱中培养, 每天称重给土壤补足水分。1、3、5、7、10 天取样采用高效液相色谱法测定土壤中克百威含量。

1.2.4 土壤含水量对克百威降解的影响 用甲醇配置浓度为 400 mg/L 的克百威, 称取烘干的灭菌土 (135℃ 下干热灭菌 3 h) 0.1 kg, 加入克百威使土壤中克百威浓度为 50 mg/kg, 混匀, 自然风干, 待溶剂挥发后待用。加入干燥的菌粉, 使土壤中降解菌含量为 10⁸ CFU/g 干土, 分别加入不同量的灭菌水, 充分搅拌溶解, 将其加入土样中, 以其含水量为 100、200、300、400、600 g/kg。以含水量低于 50 g/kg 干燥土壤处理

为对照, 每个处理 3 次重复, 于 30℃ 生化培养箱中培养, 每天称重给土壤补足水分, 10 天后采用高效液相色谱法测定土壤中克百威含量, 并计算菌株对土壤中克百威的降解率。

1.2.5 土壤温度对克百威降解的影响 称取添加含量为 50 mg/kg 克百威灭菌土壤 0.1 kg, 加入浓度为 10⁸ CFU/g 的菌剂, 用灭菌水调整土壤含水量 600 g/kg, 分别保存在 20、25、30、35、40℃ 生化培养箱中培养, 以不加菌 30℃ 培养处理为对照, 每个处理 3 个重复, 每天称重补足水分, 培养 10 天后采用高效液相色谱法测定克百威含量, 并计算菌株对土壤中克百威的降解率。

1.2.6 土壤 pH 对克百威降解的影响 称取添加含量为 50 mg/kg 克百威灭菌土壤 0.1 kg, 调整土壤 pH 为 4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0、10.0。加入 10⁸ CFU/g 菌液, 以 pH 7.0 不接菌处理为对照, 用灭菌水调整土壤含水量为 600 g/kg 每个处理 3 个重复, 每天称重补足水分, 于 30℃ 生化培养箱中培养 10 天, 经高效液相色谱测定土壤中克百威含量, 并计算菌株对土壤中克百威的降解率。

1.2.7 降解菌对土壤微生物的影响及克百威在土壤中的降解 称取取自农场未经处理的土样 0.1 kg, 放入培养皿中, 保持湿度。试验设 5 个处理, 处理 1 在土样中加入克百威使其含量为 50 mg/kg; 处理 2 为在土样中施用菌液, 使菌液浓度为 10⁸ CFU/g; 处理 3 为在克百威含量为 50 mg/kg 的土样中加入 10⁸ CFU/g 菌液; 处理 4 为施用不接菌的培养基。处理 5 为使用相同量的灭菌水。每个处理 3 个重复。每天称重补足水分以保持湿度。处理后 5 天采用平板菌落计数法计数^[13]。同时设定另一个处理: 在 0.1 kg 干热灭菌土中添加克百威使其浓度为 50 mg/kg。5 天后采用高效液相色谱法测定处理 1 和处理 3 以及灭菌土样中克百威含量, 并计算克百威的降解率。

2 结果与分析

2.1 降解菌接种量对克百威降解的影响

试验结果 (图 1) 显示: 不同接种量的降解菌对土壤中克百威都有一定的降解作用, 降解菌接种量为 5.76×10⁷ ~ 20.9×10⁷ CFU/g 干土时, 克百威降解率为 69.75% ~ 82.42%。当降解菌接种量为 39.1×10⁷ 时, 克百威降解率最大, 为 86.74%。随着降解菌接种量的增大克百威降解率也升高。当降解菌接种量较大时, 随着接种量的增大, 克百威降解率增加较缓慢。原因可

能是当降解菌接种量达到一定量时, 降解菌与底物克百威充分接触, 此时降解菌接种量已经不是克百威降解率的制约因素, 而土壤湿度、pH、温度等其他因子成为影响克百威降解率的主要因素。

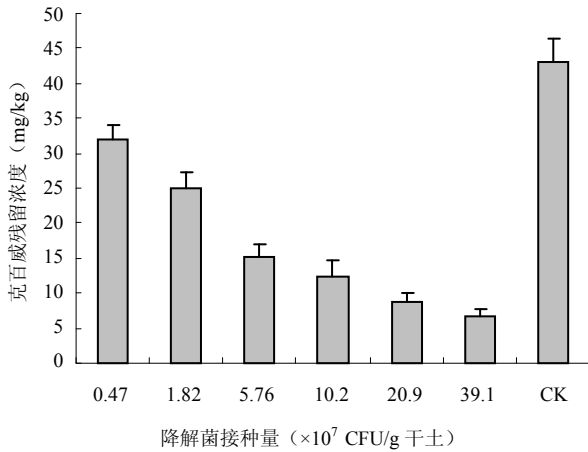


图 1 降解菌 HQ-C-01 接种量对克百威降解的影响

Fig. 1 Effect of inoculation quantity of Fungi Stain HQ-C-01 on degradation of carbofuran

2.2 克百威初始浓度对克百威降解的影响

试验结果 (图 2) 显示: 将土样接种相同量的菌液, 该菌株对 10 ~ 200 mg/kg 浓度的克百威均有较好的降解效果。降解菌对 10 mg/kg 克百威 10 天降解率为 80.23%。降解菌对 50 mg/kg 克百威 10 天降解率最高, 达到 87.42%。对浓度为 100 mg/kg 和 200 mg/kg 克百威 10 天降解率分别为 78.35% 和 75.36%。可以看出降解菌 HQ-C-01 不但能降解低浓度的克百威, 对高浓度克百威也有较好的降解效果。在 1 ~ 5 天期间各处理降解菌对克百威的降解率影响差异较大, 随着时间增长, 至 7 ~ 10 天时处理之间降解率差异逐渐缩小。

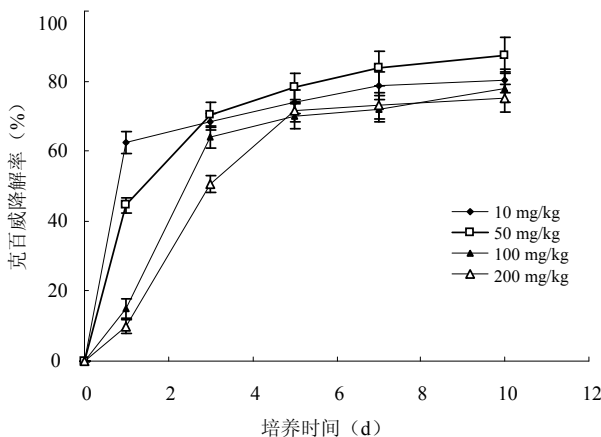


图 2 克百威初始浓度对克百威降解的影响

Fig. 2 Effect of initial concentration of carbofuran on its degradation

2.3 土壤含水量对克百威降解的影响

试验结果 (图 3) 显示, 土壤含水量在 100 ~ 600 g/kg 的范围内, 随着含水量的增加降解菌对土样中克百威的降解率增大。在土壤含水量为 400 ~ 600 g/kg 范围内克百威降解效果较好, 土壤中克百威残留浓度仅为 13.43 ~ 7.34 mg/kg, 降解菌对克百威降解率为 73.15% ~ 85.32%。当土壤含水量低至 100 g/kg 时, 克百威降解率明显下降, 仅为 26.74%, 含水量低降解菌生长繁殖速度降低, 导致对克百威农药残留速率减慢。可以看出土壤含水量对降解效果影响较大。代先祝等^[14]利用阿特拉津降解菌 *Arthrobacter* sp. 进行土壤试验时也发现土壤含水量 < 100 g/kg 时降解效率开始明显降低。

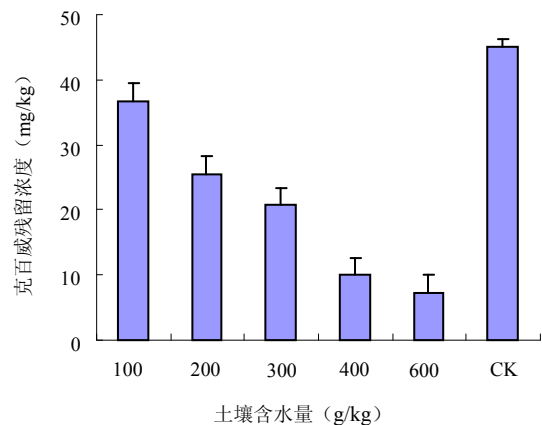


图 3 土壤含水量对克百威降解的影响

Fig. 3 Effect of soil moisture on degradation of carbofuran

2.4 土壤温度对克百威降解的影响

试验结果 (图 4) 显示, 土样温度为 30℃ 时, 土壤中克百威的残留浓度仅为 7.17 mg/kg, 降解率达 85.67%。在 20℃ 和 40℃ 时克百威在土壤中的残留浓度为 18.14 mg/kg 和 24.37 mg/kg, 降解率分别为 63.72% 和 51.26%, 表明较低和较高温度对土壤中克百威的降解有一定促进作用。在 20℃ ~ 30℃ 时降解率不断增大, 30℃ ~ 40℃ 范围内降解率下降。说明该降解菌对土壤温度适应范围较大, 在土壤温度为 30℃ 左右降解菌对土壤中克百威残留降解效果最好。

2.5 土壤 pH 对克百威降解的影响

试验结果 (图 5) 显示, 在 pH 为 7 时土壤中克百威残留浓度为 7.20 mg/kg, 降解率达 85.62%。在 pH 范围 6 ~ 8 时降解菌对土壤中克百威降解率为 68.24% ~ 75.07%。在 pH 4 ~ 7 范围内降解菌对克百威的降解率逐渐升高, 在 pH 7 ~ 10 范围内降解率随 pH 的升高而

降低。在相对较酸性和较碱性条件下，降解率较低。克百威在碱性条件下不稳定，自身的分解较严重，而此时降解菌的活动较弱，降解率较低。降解菌对土壤中克百威降解率因 pH 不同变化较大，表明 pH 对降解率有显著的影响。分析其原因是因为在 pH 较高和较低的条件下降解菌生长受到抑制，降解菌的生命活动较弱，降解菌降解特性发挥受到抑制。Yan 等^[15]分离得到的 *Novosphingobium* sp. FND-3 在 pH 为 6 时对克百威降解效果最好。

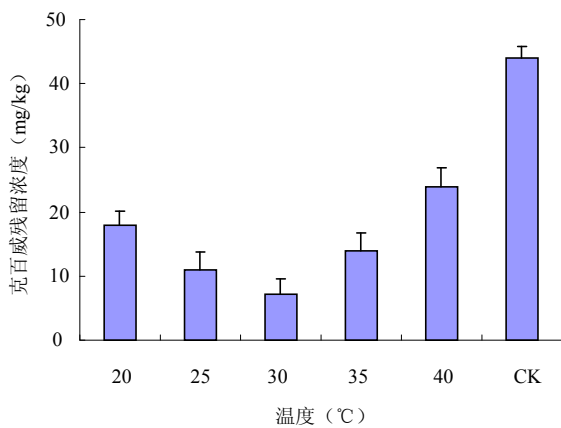


图 4 温度对克百威降解的影响

Fig. 4 Effect of temperature on degradation of carbofuran

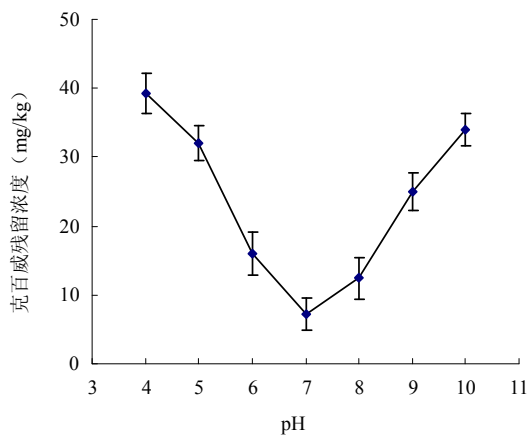


图 5 土壤 pH 对克百威降解的影响

Fig. 5 Effect of soil pH on degradation of carbofuran

2.6 降解菌对土壤微生物群落结构的影响及克百威在土壤中的降解效果

试验结果(表 1)显示:经 Duncan 新复极差法分析,对照处理中生物菌落计数真菌和细菌都低于其他处理,特别是真菌数量,与其他处理差异达显著水平。

而处理 1 和处理 2 真菌数量均明显高于对照处理。说明克百威及降解菌的使用对土壤微生物群落均有一定影响。处理 1 土壤真菌数为 2.86×10^4 CFU/g 明显多于其他处理,是对照处理真菌数的两倍多,说明克百威对土壤真菌影响较大,有较强的刺激作用,使真菌数迅速增加;而处理 3 真菌数为 1.59×10^4 CFU/g,表明降解菌分解克百威,对污染土壤修复,消除克百威对土壤真菌的刺激,使土壤中微生物数量逐渐恢复到原来水平。处理 2 真菌数量和细菌数量与处理 4 差异不明显,说明降解菌对土壤中土著微生物影响较小。处理 1 和处理 2 的细菌数于对照处理处于同一水平,表明克百威对细菌影响相对较小。而处理 3 的细菌数量与对照处理差异明显,降解菌对土壤细菌有一定的影响。胡江等^[16]发现阿特拉津对土壤中真菌和细菌有较强的刺激作用。可见不同药剂对土壤中微生物影响不同。

经 HPLC 分析发现,5 天后处理 1 和处理 3 土样中克百威含量分别为 46.8 mg/kg 和 12.4 mg/kg,而灭菌土中克百威含量为 49.2 mg/kg。克百威在处理 1、3 和灭菌土壤中的降解率分别为 6.4%、75.2% 和 1.5%。可以看出,与灭菌处理相比,土壤中原有土著菌株对克百威有一定的降解作用,但是降解效果不明显。在土壤中添加降解菌可以明显地增加克百威在土壤中的消解速度。这与 Plangklang 等^[17]的研究结果相一致。

表 1 不同处理土壤中微生物数量

Table 1 Soil microorganism quantity under different treatments

处理	真菌 (10^4 CFU/g)	细菌 (10^6 CFU/g)
1	2.86 ± 0.13 a	4.33 ± 0.47 c
2	1.24 ± 0.04 c	4.32 ± 0.54 c
3	1.39 ± 0.07 b	4.37 ± 0.39 b
4	1.13 ± 0.10 c	4.45 ± 0.58 a
5 (CK)	1.05 ± 0.06 d	4.30 ± 0.71 c

注:表中同列数据后小写英文字母不同者表示经 DMRT 法检验差异显著 ($p < 0.05$)。

3 讨论

降解菌株 HQ-C-01 在实验室模拟条件下,能够很好地降解土壤中的克百威,在接种量为 10^8 CFU/g 时降解效果较好,土壤中克百威浓度为 50 mg/kg 10 天后经降解菌的降解在土壤中的浓度仅为 6.63 mg/kg,降解率为 86.74%,同时菌株 HQ-C-01 对浓度为 200 mg/kg 克百威也有较好的降解率,而很多分离的降解菌对较高浓度的克百威降解效果较差^[18-19]。土壤含水

量对降解效果影响较大,含水量 400~600 g/kg 时可有效地降解土壤中克百威,降解率为 73.15%~85.32%,土壤含水量低于 200 g/kg 时降解效果较差。Clotaire 等^[20]用假单胞菌株 YAY6 进行土壤试验时也发现土壤含水量<200 g/kg 时降解效率开始明显降低。降解菌 HQ-C-01 对土壤温度适有较好的适应性,在温度 25℃~35℃ 范围内降解效果最好,降解率在 78.24%~88.67% 范围内;土壤 pH 对降解率影响较大,在 pH6~8 范围内降解菌的降解效果较好,在较低和较高 pH 土壤中降解菌的生长受到抑制,可能是一些关键酶在酸和碱性条件下活性较低^[21],从而降解率较低;克百威的使用改变土壤中微生物菌群,而降解菌 HQ-C-01 通过降解土壤中的微生物对受污染土壤进行修复,消除克百威对土壤微生物的刺激,恢复土壤微生物种群结构。

农药残留的土壤原位生物修复是近年来发展的一项将生物技术用于解决生态环境农药污染的方法,有效解决土壤中农药残留^[4]。目前氨基甲酸酯类农药降解酵母菌报道较少,并且传统的降解菌方面的研究多数停留在降解菌的分离和降解特性的研究上。本研究采用的降解菌株 HQ-C-01 经初步鉴定为酵母菌,耐受环境条件范围较广,并且在存有許多抗生素的条件下也能生长旺盛,对于取得方式和效益来说,酵母菌比细菌更容易、更经济,大规模生产也不会引起人们像对细菌那样产生对公共健康问题的担心^[22]。因此应用降解菌 HQ-C-01 对降解环境中的克百威农药有较好的前景。应用微生物修复受污染环境需要考虑环境因素的影响,接菌量、土壤农药残留浓度、含水量、土壤温度、pH 以及土著微生物的竞争作用。这些因素影响降解菌在环境中是否能够起到较好的降解效果。而菌株 HQ-C-01 对环境有较强的适应能力,对环境适应范围较广,具有在大田应用以及修复受污染的环境的潜力。总之,本文探索实验室模拟条件下降解菌修复污染土壤的应用条件,为氨基甲酸酯类农药污染土壤的生物修复提供了参考和依据。

参考文献:

- [1] 席艳丽,董慧茹. 溶剂浮选-气相色谱/质谱法测定蔬菜中氨基甲酸酯类农药残留. 化学通报, 2008(7): 553-556
- [2] 郭荣君,李世东,章力建,李正. 土壤农药污染与生物修复研究进展. 中国生物防治, 2005, 21(3): 129-135
- [3] Begum G, Vijavarahayan S. Carbofuran toxicity on total lipids and free fattyacids in air breathing fish during exposure and cessation of exposure in viv. Environmental Monitoring and Assessment, 2001, 70: 233-239
- [4] 张明星,洪青,何健,管晓进,虞方伯,郭鹏,李顺鹏. BHC-A 与 CDS-1 降解菌对六六六、呋喃丹污染土壤的原位生物修复. 土壤学报, 2006, 43(4): 693-696
- [5] Torma AE. The basis of bioremediation. Pollution Engineering, 1994, 26(6): 46-47
- [6] 文君,孙成,缪红,王鲜俊,彭喜雨. 高效液相色谱法同时测定蔬菜中 5 种氨基甲酸酯类农药. 中国卫生检验杂志, 2007, 6(17): 964-967
- [7] Plangklang P, Reungsang A. Bioaugmentation of carbofuran residues in soil using Burkholderia cepacia PCL3 adsorbed on agricultural residues. International Biodeterioration and Biodegradation, 2009, 63(4): 515-522
- [8] Naqvi T, Cheesman MJ, Williams MR, Campbell PM, Ahmed S, Russell RJ, Scott C, Oakeshott JG. Heterologous expression of the methyl carbamate-degrading hydrolase MCD. Journal of biotechnology, 2009, 144(2): 89-95
- [9] Slaoui M, Ouhssine M, Berny E, Elyachioui M. Biodegradation of the carbofuran by a fungus isolated from treated soil. African Journal of Biotechnology, 2007, 6(4): 419-423
- [10] Osborn RK, Edwards SG, Wilcox A, Haydock PJ. Potential enhancement of degradation of the nematicides aldicarb, oxamyl and fosthiazate in UK agricultural soils through repeated applications. Pest Management Science, 2010, 66(3): 253-261
- [11] Plangklang P, Reungsang A. Bioaugmentation of carbofuran by Burkholderia cepacia PCL3 in a bioslurry phase sequencing batch reactor. Process Biochemistry, 2010, 45(2): 230-238
- [12] 乔润香,钟国华,罗建军,刘承兰,胡美英. 克百威降解菌株 HQ2C201 的筛选及培养基优化. 华南农业大学学报, 2009, 30(3): 27-31
- [13] 李阜棣,喻子牛,何绍江. 农业微生物实验技术. 北京: 中国农业出版社, 1996: 69-71
- [14] 代先祝,蒋建东,李荣. *Arthrobacter* sp. AG1 菌株降解土壤中阿特拉津研究. 土壤, 2008, 40(5): 754-759
- [15] Yan QX, Hong Q, Han P, Dong XG, Shen YJ, Li SP. Isolation and characterization of a carbofuran-degrading strain *Novosphingobium* sp FND-3. FEMS Microbiology Letters, 2007, 271(2): 207-213
- [16] 胡江,代先祝,李顺鹏. 阿特拉津及其降解菌的使用对土壤微生物群落的影响. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1518-1522
- [17] Plangklang P, Reungsang A. Effects of rhizosphere remediation and bioaugmentation on carbofuran removal from soil. World Journal of Microbiology and Biotechnology 2008, 24: 983-989
- [18] Seo J, Jeon J, Kim SD, Kang S, Han J, Hur HG. Fungal

- biodegradation of carbofuran and carbofuran phenol by the fungus *Mucor ramannianus*: Identification of metabolites. *Water Science and Technology*, 2007, 18(2): 163-167
- [19] Krishna KR, Philip L. Biodegradation of lindane, methyl parathion and carbofuran by various enriched bacterial isolates. *Journal OF Environmental Science AND Health. Part B-Pesticides Food Contaminant AND Agricultural Wastes*, 2008, 43(2): 157-171
- [20] Clotaire YK, Nikolaus G. Mineralization of the herbicide atrazine in soil inoculated with a *Pseudomonas* strain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1995, 43(8): 2 291-2 294
- [21] Anwar S, Liaquat F, Khan QM, Khalid ZM, Iqbal S. Biodegradation of chlorpyrifos and its hydrolysis product 3,5,6-trichloro-2-pyridinol by *Bacillus pumilus* strain C2A1. *Journal OF Hazardous Material*, 2009, 168(1): 400-405
- [22] 巴尼特, 佩恩. 酵母菌的特征与鉴定手册. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1991

Bioremediation of Carbofuran-contaminated Soil by Degrading Fungi Stain HQ-C-01

YANG liu, CHEN Shao-hua, HU Mei-ying, HAO Wei-ning

(*Key Laboratory of Natural Pesticide and Chemical Biology, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China*)

Abstract: Under the lab simulated conditions, the bioremediation of Fungi Stain HQ-C-01 on carbofuran-contaminated soil and the factors affecting the degradation capacity were studied, meanwhile the influences of carbofuran and Fungi Stain HQ-C-01 on soil microflora were also investigated. The results showed that there was positive correlation between the degradation rate and the inoculation quantity. The degradation rate for 50 mg/kg carbofuran after 10 days was 82.89% with 2.09×10^8 CFU/g inoculation quantity. The degradation rate was low if the inoculation quantity was less than 10^6 CFU/g. The effect of soil moisture on the degradation rate was obvious, the degradation rate was best (85.32%) when soil moisture was 600 g/kg, but was lower when soil moisture lower than 200 g/kg. Fungi Stain HQ-C-01 had higher degradation rate when the temperature ranged from 25°C to 35°C. Soil pH value influenced the degradation rate significantly, the degradation rate for 50 mg/kg carbofuran after 10 days reached highest (85.629%) when soil pH value was about 7. Carbofuran has certain influence on soil microflora by intensively stimulating soil fungi, but the application of Fungi Stain HQ-C-01 can remit the influence and thus can remediate the contaminated soil.

Key words: Carbofuran, Degrading stain HQ-C-01, Bioremediation, Environmental factor, Soil microorganism