

# 光合细菌 PSB07-15 对水培黄瓜体系中甲氰菊酯污染的生物修复

张松柏<sup>1,2</sup>, 张德咏<sup>1,2</sup>, 刘 勇<sup>1,2</sup>, 罗香文<sup>2</sup>, 成飞雪<sup>2</sup>, 罗源华<sup>2</sup>

(1.中南大学研究生院隆平分院, 湖南 长沙 410125; 2. 湖南省植物保护研究所, 湖南 长沙 410125)

**摘要:**为了探索光合细菌 PSB07-15 降解甲氰菊酯的应用潜力,在实验室研究了光合细菌 PSB07-15 对水培黄瓜体系中的甲氰菊酯污染的生物修复效率。结果表明,培养 30 d,光合细菌 PSB07-15 对黄瓜营养液中  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  甲氰菊酯降解率达到 47.63%,黄瓜中甲氰菊酯降解率达 59.73%。光合细菌 PSB07-15 可以使黄瓜的根长和生物量显著增加,而黄瓜的根活力以及根  $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活力增加并不显著。

**关键词:**甲氰菊酯;沼泽红假单胞菌 PSB07-15;水培黄瓜;生物修复

**中图分类号:**X172 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)10-2198-06

## Bioremediation of Fenprothrin by Photosynthetic Bacterial Strain PSB07-15 in Hydroponic System for Cucumber Culture

ZHANG Song-bai<sup>1,2</sup>, ZHANG De-yong<sup>1,2</sup>, LIU Yong<sup>1,2</sup>, LUO Xiang-wen<sup>2</sup>, CHENG Fei-xue<sup>2</sup>, LUO Yuan-hua<sup>2</sup>

(1. Longping Branch, Graduate College, Central South University, Changsha 410125, China; 2. Hunan Plant Protection Institute, Changsha 410125, China)

**Abstract:** The bioremediation efficiency of fenprothrin by photosynthetic bacterial strain PSB07-15 in hydroponic cucumber system was evaluated in lab, for actual potential application of bioremediation by photosynthetic bacterium. The results showed that the strain PSB07-15 could degrade fenprothrin effectively in hydroponic system. Fenprothrin was degraded up to 47.63% at the level of  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  by the strain PSB07-15 in hydroponics nutrient solution and degraded up to 59.73% in cucumber at day 30. The strain PSB07-15 significantly enhanced root-length increment and biomass increment but not the root activity value and root catalase activity value of cucumber. The results indicated this strain PSB07-15 may have an important role in bioremediation in agricultural practice.

**Keywords:** fenprothrin; *Rhodospseudomonas palustris* PSB07-15; hydroponic cucumber; bioremediation

甲氰菊酯(fenprothrin)作为一种广谱高效的拟除虫菊酯类杀虫剂,一直被认为是一种安全有效的农业虫害防治药剂,从 20 世纪 80 年代以后,在我国被广泛用于粮食、蔬菜和果树等多种作物<sup>[1]</sup>。然而,最新的研究表明其残留会造成环境与农产品的污染,特别是其对家蚕以及鱼类等生物高毒,并可以在鱼体中蓄积<sup>[2-3]</sup>;有些品种有致癌、致畸、致突变作用<sup>[4-5]</sup>,给生态

环境、农产品的质量以及人身体健康带来严重的威胁。近年来,随着部分高毒有机磷农药逐步被禁用,拟除虫菊酯类农药使用量稳步上升,随之而来的环境和生态风险加大<sup>[1]</sup>。

以生物修复(Bioremediation)为理论基础的农药残留降解菌技术是降低农产品和农业生产环境中农药残留的一种重要手段。国内外很多有关农药残留微生物降解研究的报道,拟除虫菊酯类农药的微生物降解在降解菌的分离以及生理生化特征方面,已有许多研究报道<sup>[6-7]</sup>。但是,在拟除虫菊酯类农药的降解菌应用方面的研究报道相对较少<sup>[8]</sup>。

本文在前期分离的具有高效降解甲氰菊酯的光合细菌 PSB07-15 的基础上<sup>[9]</sup>,在实验室研究了光合

收稿日期:2009-04-14

基金项目:国家“863”计划项目(2006AA10Z401);国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD17B08, 2006BAD08A08);湖南省农村科技计划重点项目(2008NK2009)

作者简介:张松柏(1980—),男,湖北监利人,助理研究员,在读博士,主要从事农药微生物降解研究。E-mail: zsongh@sohu.com

通讯作者:刘 勇 E-mail: haoasliu@163.com

细菌对水培黄瓜体系中甲氰菊酯污染的生物修复效率,探索光合细菌降解甲氰菊酯的应用潜力。该研究为利用光合细菌对拟除虫菊酯类农药残留的生物修复提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 培养基、试剂和主要仪器

光合细菌(PSB)培养基:MM 培养基添加 0.15% 酵母膏,参照文献[10];黄瓜营养液:参照刘峰等<sup>[11]</sup>配方(表 1)配制。

表 1 黄瓜培养营养液

Table 1 Components of cucumber nutrient fluid

| 成分                                     | 含量/mg·L <sup>-1</sup> | 成分                                                  | 含量/mg·L <sup>-1</sup> |
|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>        | 1 650.00              | KI                                                  | 0.83                  |
| KNO <sub>3</sub>                       | 1 900.00              | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                      | 6.20                  |
| CaCl <sub>2</sub>                      | 332.00                | MnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                | 22.30                 |
| MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O   | 370.00                | ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                | 8.60                  |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>        | 170.00                | Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O | 0.25                  |
| FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O   | 27.80                 | CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O                | 0.03                  |
| Na <sub>2</sub> EDTA·2H <sub>2</sub> O | 37.30                 | CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O                | 0.03                  |

试剂:40%甲氰菊酯乳油,海南正业化工有限公司惠赠;98%甲氰菊酯标准品购自天津东方绿色科技发展有限公司;其他农药残留检测试剂均为色谱纯。

主要仪器:农药残留检测在湖南省植物保护研究所农药残留检测室进行。6890N 气相色谱仪(Agilent, USA),SPX-3001C 人工气候箱(上海博迅实业有限公司)。

### 1.2 降解菌与黄瓜品种

黄瓜品种:津优 1 号,自购。

光合细菌菌株:光合细菌菌株沼泽红假单胞菌 PSB07-15 (*Rhodospseudomonas palustris* sp. PSB07-15)(CCTCC No:M209024),保存于湖南省植物保护研究所。

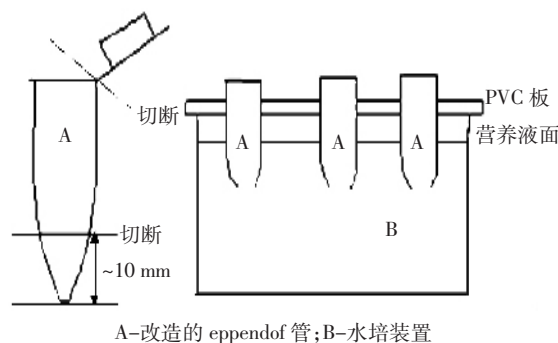
光合细菌的准备:从-70℃中取出保存的菌株 PSB07-15,PSB 双层固体培养基划线活化,(30±1)℃、约 3 000 lx 光照培养至出现菌落,挑取单菌落接种于 PSB 培养基中,(30±1)℃、约 3 000 lx 光照培养约 15 d,梯度稀释平板法计数,用 PSB 培养基调节至约 10<sup>9</sup> cfu·mL<sup>-1</sup>。

### 1.3 黄瓜水培体系

#### 1.3.1 水培装置

水培装置参照刘峰等<sup>[11]</sup>的方法略做修改。具体方法:用手术小刀将 1.5 mL 的 eppendorf 管沿距底部 10

mm 处切下,去掉下面部分,然后,切掉离心管管盖。将改造后的 eppendorf 管放在钻孔的约 1.0 cm 厚的聚乙烯塑料板上(以刚好能放下改造好的 eppendorf 管为准),然后将聚乙烯塑料板盖在 0.5 L 的 PVC 盒上(图 1)。配制黄瓜培养液(见表 1)加入到 PVC 盒子中,至培养液液面淹没改造的 eppendorf 管下部约 10 mm,模拟自然水培条件。



A-改造的 eppendorf 管;B-水培装置

图 1 水培装置示意图

Figure 1 Hydroponic system

#### 1.3.2 黄瓜苗的准备与移植

在巴氏培养皿(Φ9.0 cm)中,放入 5 张定性滤纸(Φ9.0 cm),加入 20 mL 灭菌蒸馏水,均匀播入大小均匀一致的黄瓜种子(20 粒·皿<sup>-1</sup>),(25±1)℃、约 2 000 lx 光照培养。定时补充适量的灭菌蒸馏水。

培养 8 d 后,选取大小基本一致的黄瓜苗,取样测定其生物量、根长、根活力以及根 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 酶活性,移植到水培装置上,每个改造的 eppendorf 管中植入一株黄瓜苗。将水培装置移入人工气候箱中(25±1)℃,约 2 000 lx,12h/12h(光照/黑暗)培养。定期补充适量的黄瓜培养液,保持黄瓜培养液总体积不变。

#### 1.4 处理设计

试验设 4 个处理,每处理重复 3 次。准确量取 350 mL 黄瓜营养液加入到水培装置中,分别按下列处理加入相应添加物。

处理 1:甲氰菊酯(100 mg·L<sup>-1</sup>)+菌株 PSB07-15 (0.5% V/V)。

处理 2:甲氰菊酯(100 mg·L<sup>-1</sup>)+灭活菌株 PSB07-15 (0.5% V/V)。

处理 3:甲氰菊酯(100 mg·L<sup>-1</sup>)+灭菌双蒸水(0.5% V/V)。

处理 4:灭菌双蒸水(0.5% V/V)。

#### 1.5 黄瓜生长情况测定

黄瓜的生长情况主要测定其生物量和根长。定时

取量,采用称量法测定黄瓜的总生物量,测量法测定黄瓜根长。测定方法参照罗健等<sup>[12]</sup>的方法。

### 1.6 黄瓜根活力测定

黄瓜根活力的测定采用 TTC 法<sup>[12]</sup>。

根活力值( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )=四氮唑还原量( $\text{mg}$ )/[根重( $\text{g}$ ) $\times$ 时间( $\text{h}$ )]

### 1.7 黄瓜根 $\text{H}_2\text{O}_2$ 酶活性测定

黄瓜根  $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活力的测定采用分光光度法,参照胡健等<sup>[13]</sup>的方法。 $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活力定义为每分钟 OD 减少 0.01 为一个活力单位(U)。

### 1.8 甲氰菊酯测定

定时取 10.0 mL 培养营养液或 2.0 g 黄瓜苗,用正己烷萃取 3 次,每次用量分别为 20、20、10 mL。氮吹仪上吹至约 10 mL,然后用正己烷定容至 10 mL,接着加入无水硫酸钠脱水,气相色谱测定其含量<sup>[9]</sup>。以甲氰菊酯标样定性定量,所有处理检测均重复 3 次。

测试条件如下:气相色谱仪型号 Agilent 6890N,色谱柱型号为 HP-5 (30 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ),采用程序升温法(毛细管柱起始温度 160  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 5 min,10  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  升至 200  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 1 min,10  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  升至 280  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 8 min),检测器( $\mu\text{ECD}$ )温度 320  $^{\circ}\text{C}$ ,进样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ,载气为  $\text{N}_2$ (纯度 99.99%),流量 1 mL $\cdot$ min $^{-1}$ 。进样量均为 1  $\mu\text{L}$ 。

降解率的计算方法:

$$\text{降解率}(\%) = (1 - C_1/C_0) \times 100$$

式中: $C_1$  为降解菌处理菊酯类农药残留浓度,  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;

$C_0$  为处理 3 的菊酯类农药残留浓度,  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

### 1.9 数据分析方法

所有试验数据均为 3 次重复的平均值,数据平均值用 Microsoft Excel 2003 分析软件处理;数据显著性分析采用 DPS 9.50 分析软件处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 黄瓜生长情况

以黄瓜的生物累积增加值和根长累积增加值分析黄瓜的生长情况。黄瓜的生物量累积增加值(表 2)以及根长累积增加值(表 3)结果表明,培养前期(15 d 以前)光合细菌 PSB07-15(处理 1)可以促进黄瓜的生物量累积增加值以及根长累积增加值,但是并不显著,可能是因为光合细菌 PSB07-15 的生物量相对较低,产生的促进黄瓜生长的物质相对较少;培养后期(15 d 以后)光合细菌 PSB07-15(处理 1)可以显著促进黄瓜的生物量累积增加值以及根长累积增加值。该结果与光合细菌可以促进其他作物的生长结果一致<sup>[14-15]</sup>,该结果表明筛选光合细菌降解菌具有潜在的应用前景。

整个培养期间,处理 3 的黄瓜生物量累积增加值与根长累积增加值与对照处理 4 差异不明显,表明 100  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的甲氰菊酯对水培黄瓜生长无明显抑制作用。

### 2.2 黄瓜根活力

光合细菌 PSB07-15 对黄瓜根活力的影响结果

表 2 黄瓜生物量累积增加值(g)

Table 2 Accumulated biomass increment of cucumber (g)

| 处理   | 时间/d |                  |                   |                  |                  |                   |                  |
|------|------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
|      | 0    | 5                | 10                | 15               | 20               | 25                | 30               |
| 处理 1 | 0    | 0.15 $\pm$ 0.02a | 0.21 $\pm$ 0.06a  | 0.69 $\pm$ 0.12a | 2.90 $\pm$ 0.58a | 4.75 $\pm$ 0.29a  | 5.56 $\pm$ 0.06a |
| 处理 2 | 0    | 0.12 $\pm$ 0.06a | 0.15 $\pm$ 0.02b  | 0.58 $\pm$ 0.05a | 1.65 $\pm$ 0.27b | 2.85 $\pm$ 0.16b  | 2.41 $\pm$ 0.29b |
| 处理 3 | 0    | 0.12 $\pm$ 0.01a | 0.18 $\pm$ 0.03ab | 0.26 $\pm$ 0.03b | 1.14 $\pm$ 0.06c | 1.14 $\pm$ 0.06c  | 1.75 $\pm$ 0.12c |
| 处理 4 | 0    | 0.13 $\pm$ 0.01a | 0.19 $\pm$ 0.02a  | 0.42 $\pm$ 0.01a | 1.75 $\pm$ 0.03b | 2.23 $\pm$ 0.12bc | 2.42 $\pm$ 0.12b |

注:0 表示移植当天;同一列中不同字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

表 3 黄瓜根长累积增加值(g)

Table 3 Accumulated root length increment of cucumber (g)

| 处理   | 时间/d |                  |                   |                   |                   |                   |                   |
|------|------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|      | 0    | 5                | 10                | 15                | 20                | 25                | 30                |
| 处理 1 | 0    | 0.15 $\pm$ 0.03b | 4.36 $\pm$ 0.23a  | 9.14 $\pm$ 0.35a  | 13.75 $\pm$ 0.56a | 17.65 $\pm$ 0.77a | 23.12 $\pm$ 0.12a |
| 处理 2 | 0    | 0.32 $\pm$ 0.03a | 3.82 $\pm$ 0.13ab | 7.36 $\pm$ 0.56ab | 10.60 $\pm$ 0.80b | 13.32 $\pm$ 0.36b | 18.65 $\pm$ 0.88b |
| 处理 3 | 0    | 0.20 $\pm$ 0.03a | 1.85 $\pm$ 0.12bc | 6.05 $\pm$ 0.26c  | 8.41 $\pm$ 0.11c  | 10.20 $\pm$ 0.26c | 11.55 $\pm$ 0.38c |
| 处理 4 | 0    | 0.22 $\pm$ 0.01a | 2.34 $\pm$ 0.13b  | 5.85 $\pm$ 0.43c  | 8.50 $\pm$ 0.12c  | 10.84 $\pm$ 0.23c | 11.95 $\pm$ 0.14c |

表 4 黄瓜根系活力( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )Table 4 The root activity of cucumber ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )

| 处理   | 时间/d       |            |             |             |            |            |            |
|------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
|      | 0          | 5          | 10          | 15          | 20         | 25         | 30         |
| 处理 1 | 0.20±0.01a | 0.22±0.07a | 0.31±0.02a  | 0.45±0.03ab | 0.49±0.06a | 0.50±0.03a | 0.56±0.02a |
| 处理 2 | 0.18±0.02a | 0.23±0.02a | 0.19±0.02b  | 0.41±0.02b  | 0.45±0.01a | 0.43±0.03a | 0.37±0.02b |
| 处理 3 | 0.21±0.01a | 0.21±0.04a | 0.21±0.04ab | 0.25±0.01c  | 0.33±0.02b | 0.21±0.02b | 0.30±0.02b |
| 处理 4 | 0.23±0.06a | 0.22±0.08a | 0.22±0.02ab | 0.36±0.02b  | 0.39±0.06b | 0.41±0.06a | 0.38±0.03b |

见表 4。PSB07-15(处理 1)能促进黄瓜的根活力,但整个培养期间不显著。植物根系是活跃的吸收器官和合成器官,根的生长情况和活力水平直接影响地上部分的生长和营养状况及生物量<sup>[12]</sup>。由此推测光合细菌 PSB07-15 促进黄瓜生长的诸多因子中,其中一个可能是促进黄瓜根活力。处理 3 的黄瓜根活力与处理 4 基本一致,也表明  $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的甲氰菊酯对水培黄瓜生长无明显抑制作用。

### 2.3 黄瓜根 $\text{H}_2\text{O}_2$ 酶活性

光合细菌 PSB07-15 对黄瓜根  $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活性的影响结果见表 5。处理 1 光合细菌 PSB07-15 能促进黄瓜的根  $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活性,处理 2 灭活菌以及处理 3 甲氰菊酯与对照处理 4 黄瓜根  $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活性基本一致;3 个处理黄瓜根  $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活性与对照处理 4 相比,整个培养期间差异不显著。该结果表明,光合细菌 PSB07-15 能促进黄瓜的根  $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活性。

几乎所有的生物机体都存在过氧化氢酶,其普遍存在于能呼吸的生物体内,主要存在于植物的叶绿体、线粒体、内质网、动物的肝和红细胞中,其酶促活性为机体提供了抗氧化防御机理<sup>[13]</sup>。整个培养期间,处理 1 光合细菌 PSB07-15 不能显著增加该酶活性,可能是因为黄瓜在整个培养期间处于一种相对较好的生长环境中。

### 2.4 PSB07-15 降解黄瓜营养液中甲氰菊酯

光合细菌 PSB07-15 降解黄瓜营养液中  $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的甲氰菊酯结果见图 2。灭活菌对黄瓜营养液中的甲氰菊酯有一定的降解作用,培养 30 d,降解效率达

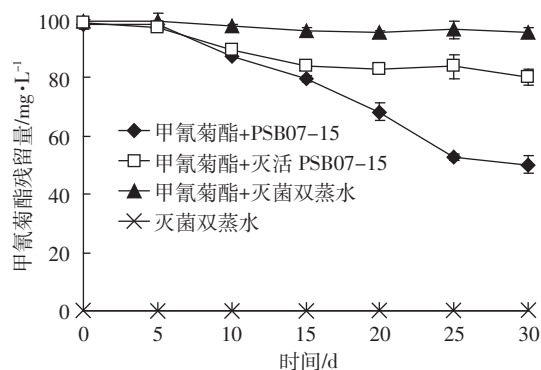


图 2 光合细菌 PSB07-15 降解黄瓜营养液中甲氰菊酯

Figure 2 Degrading fenpropathrin in nutrient solution for cucumber growth by PSB07-15

16.27%;相比灭活菌,PSB07-15 可以有效地降解黄瓜营养液中的甲氰菊酯,降解效率为 47.63%。张松柏等<sup>[9]</sup>的研究表明:PSB07-15 在  $(30\pm 1)^\circ\text{C}$ , 约  $3\,000\text{ lx}$  光照条件下,培养 15 d,对 PSB 培养基中  $600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  甲氰菊酯的降解率达到 35.26%,在降解速率以及降解量上都大大高于本试验的 PSB07-15 对甲氰菊酯的降解。分析主要原因有以下两点:一是相比 PSB 培养基,光合细菌 PSB07-15 在黄瓜营养液中增殖速度慢;二是光合细菌在黄瓜营养液中光照强度低、氧气含量相对较高的条件下,主要是以能效较低的化能异养的方式增殖<sup>[16]</sup>。通过进一步研究光合细菌在不同营养方式下降解甲氰菊酯的效率和途径,可以更好地解释该结果。

洪源范等<sup>[17]</sup>研究表明,降解菌细胞内的降解酶可

表 5 黄瓜根系  $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活力( $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ )Table 5 Catalase activity of cucumber root system ( $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ )

| 处理   | 时间/d        |            |            |             |             |             |            |
|------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|      | 0           | 5          | 10         | 15          | 20          | 25          | 30         |
| 处理 1 | 1.31±0.04ab | 1.55±0.07a | 1.67±0.02b | 1.85±0.08a  | 2.25±0.02a  | 2.50±0.05a  | 2.48±0.03a |
| 处理 2 | 1.22±0.05b  | 1.53±0.03a | 1.79±0.05a | 1.70±0.02ab | 2.22±0.02a  | 2.15±0.07ab | 1.96±0.05b |
| 处理 3 | 1.41±0.02a  | 1.42±0.04a | 1.38±0.03b | 1.43±0.05b  | 1.32±0.02b  | 1.38±0.05b  | 1.48±0.06c |
| 处理 4 | 1.20±0.04b  | 1.53±0.04a | 1.55±0.02b | 1.58±0.07b  | 1.55±0.05±b | 1.60±0.08b  | 1.72±0.11b |



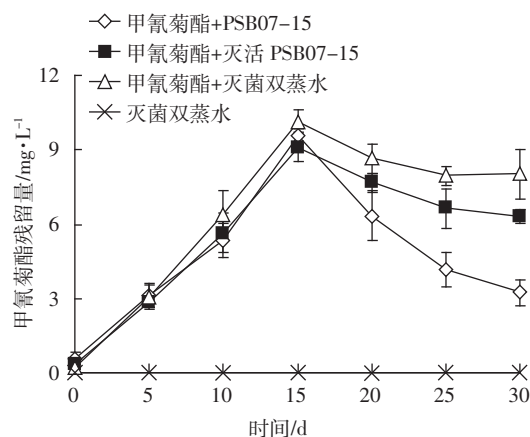


图 3 光合细菌 PSB07-15 降解黄瓜中的甲氰菊酯

Figure 3 Degrading fenpropathrin in cucumber by PSB07-15

以通过细胞膜和细胞壁泄漏到细胞外,因此,灭活菌具有降解效率,可能是因为灭活菌裂解释放的降解酶以及 PSB 培养基中培养 PSB07-15 时释放的部分降解酶的降解作用。

## 2.5 PSB07-15 降解黄瓜中的甲氰菊酯

图 3 结果表明,光合细菌 PSB07-15(处理 1)可以有效地降解黄瓜中的甲氰菊酯,处理 30 d,灭活菌降解黄瓜中甲氰菊酯达到 21.20%,光合细菌 PSB07-15 降解黄瓜中的甲氰菊酯达 59.73%。处理 1 黄瓜中的甲氰菊酯量为  $3.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,超出国家标准 3.23 倍和美国、欧盟标准 16.15 倍<sup>[18]</sup>,主要是因为黄瓜营养液中起始浓度过高,光合细菌 PSB07-15 处理 30 d 后,黄瓜营养液中甲氰菊酯的浓度依然相对较高,达  $50.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

处理 1、2、3,培养前期(15 d 前),黄瓜吸收甲氰菊酯的量大于其降解量,因此,黄瓜中逐步累积甲氰菊酯;培养后期(15 d 后),黄瓜中甲氰菊酯逐步降解,其降解量大于其吸收量,黄瓜中甲氰菊酯的量逐步降低,处理 3 具有达到一个动态平衡的趋势。而处理 1 由于 PSB07-15 的降解作用,黄瓜中甲氰菊酯的含量低于处理 2、3。

## 3 结论

(1)光合细菌 PSB07-15 可以有效降解黄瓜营养液和黄瓜中的甲氰菊酯,培养 30 d,光合细菌 PSB07-15 对黄瓜营养液中  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  甲氰菊酯降解率达到 47.63%,黄瓜中甲氰菊酯降解率达 59.73%。

(2)光合细菌 PSB07-15 可以显著增加黄瓜的根长累积增加值以及生物量累积增加值。

(3)光合细菌 PSB07-15 能够促进黄瓜的根活力值以及根  $\text{H}_2\text{O}_2$  酶活性,但并不显著。

## 参考文献:

- [1] 王兆守,李顺鹏.拟除虫菊酯类农药微生物降解研究进展[J].土壤,2005,37(6):577-580.  
WANG Zhao-shou, LI Shun-peng. Study on microbial degradation of synthetic pyrethroid insecticides[J]. Soils, 2005, 37(6):577-580.
- [2] 吴声敢,王强,赵学平,等.毒死蜱和甲氰菊酯对家蚕毒性及安全评价研究[J].农药科学与管理,2003,24(9):11-14.  
WU Sheng-gan, WANG Qiang, ZHAO Xue-ping, et al. Study on toxicity and safety evaluation of chlorpyrifos and fenpropathrin to bee (*Apis mellifera* L.)[J]. Pesticide Science and Administration, 2003, 24(9):11-14.
- [3] Saha S, Kaviraj A. Effect of ambient temperature and daylight on the survival of freshwater catfish *Heteropneustes fossilis* (Bloch, 1794) exposed to cypermethrin[J]. Environmental Engineering Science, 2009, 26(2):459-462.
- [4] Meeker J D D, Barr B, Hauser R. Pyrethroid insecticide metabolites are associated with serum hormone levels in adult men[J]. Reproductive Toxicology, 2009, 27(2):155-160.
- [5] Luft S, Milki E A, Glustrom E, et al. Binding of organochloride and pyrethroid pesticides to estrogen receptors  $\alpha$  and  $\beta$ : a fluorescence polarization assay[J]. Biophysical Journal, 2009, 96(3):444a.
- [6] Tallur P N, Megadi V B, Ninneker H Z. Biodegradation of cypermethrin by *Micrococcus* sp. strain CPN 1[J]. Biodegradation, 2008, 19:77-82.
- [7] 许育新,李晓慧,张明星,等.红球菌 CDT3 降解氯氰菊酯的特性及途径[J].中国环境科学,2005,25(4):399-402.  
Xu Y X, Li X H, Zhang M X, et al. Characters and pathway for degradation of cypermethrin by *Rhodococcus* sp. strain CDT3[J]. China Environmental Science, 2005, 25(4):399-402.
- [8] Holden P A, Firestone M K. Soil microorganisms in soils cleanup: how can we improve our understanding[J]. Journal of Environmental Quality, 1997, 26:32-40.
- [9] 张松柏,张德咏,罗香文,等.降解甲氰菊酯光合细菌的分离鉴定及其降解特性研究[J].农业环境科学学报,2009,28(1):140-144.  
ZHANG Song-bai, ZHANG De-yong, LUO Xiang-wen, et al. Isolation and identification of fenpropathrin degrading strain PSB07-15 and its degradation characteristics[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(1):140-144.
- [10] 张德咏,谭新球,罗香文,等.一株能降解有机磷农药甲胺磷的光合细菌 HP-1 的分离及生物学特性的研究[J].生命科学研究,2005,9(3):247-253.  
ZHANG De-yong, TAN Xin-qiu, LUO Xiang-wen, et al. Isolation of photosynthetic bacteria HP-1 with degradation of organic-phosphorus insecticides and studies on its biodegradation ability and capacity of increasing growth[J]. Life Science Research, 2005, 9(3):247-253.
- [11] 刘峰,施卫明.拟南芥室内水培方法的改进[J].土壤,2006,38(1):102-105.  
LIU Feng, SHI Wei-ming. An improved method for indoor hydroponic

- culture of *Arabidopsis Thaliana*[J]. *Soils*, 2006, 38(1):102–105.
- [12] 罗 健, 王 英, 林东教, 等. 金琥快速水培技术及其根系适应性的研究[J]. 园艺学报, 2007, 34(3):711–716.
- LUO Jian, WANG Ying, LIN Dong-jiao, et al. Studies on rapid culture techniques and root adaptability of *Echinocactus grusonii* in hydroponics[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(3):711–716.
- [13] 胡 健, 康贻军, 杨连新, 等. 水稻不同生育期土壤微生物生物量及生物活性对模拟 Cr(VI) 污水灌溉的响应[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(6):2308–2314.
- HU Jian, KANG Yi-jun, YANG Lian-xin, et al. Response of soil microbial biomass and bioactivities to stimulated irrigation of Cr(VI) sewage in different growth stages of rice[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(6):2308–2314.
- [14] 魏克强, 杨俊仙, 魏治中, 等. 光合细菌改善新型烟草品质的初步研究[J]. 微生物学通报, 2008, 35(2):220–224.
- WEI Ke-qiang, YANG Jun-xian, WEI Zhi-zhong, et al. Effects of photosynthetic bacteria on quality of new-type tobacco[J]. *Microbiology*, 2008, 35(2):220–224.
- [15] 吴淑杭, 史家樑, 徐亚同, 等. 猪场粪便污水 PSB 液肥化及其应用研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1):265–268.
- WU Shu-hang, SHI Jia-liang, XU Ya-tong, et al. PSB fluid fertilizers from piggery waste water and its application[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(1):265–268.
- [16] Hot G J, Krieg R N, Sneath H A P, et al. Bergey's manual of determinative bacteriology[M]. 9th ed. Baltimore: William & Wilkins, 1994: 473.
- [17] 洪源范, 洪 青, 武 俊, 等. 甲氰菊酯降解菌 JQL4-5 的分离鉴定及降解特性研究[J]. 环境科学, 2006, 27(10):2100–2104.
- HONG Yuan-fan, HONG Qing, WU Jun, et al. Isolation, identification and characteristics of a fenpropathrin-degrading bacterium JQL4-5[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(10):2100–2104.
- [18] 马爱进. 中外食品中农药残留限量标准差异的研究[J]. 中国食物与营养, 2008, 1:12–14.
- MA Ai-jin. Differences between the food standards of maximum residue limits (MRLs) in China and abroad[J]. *Food and Nutrition in China*, 2008, 1:12–14.