

# 有机磷农药高效降解微生物的筛选与鉴定

张六六<sup>1,2</sup>, 夏森玉<sup>2</sup>, 丁亚欣<sup>3</sup>, 吴燕<sup>1</sup>, 刘佳<sup>1</sup> (1. 江苏省微生物研究所有限责任公司, 江苏无锡 214000; 2. 江苏纳克生物工程有限公司, 江苏盱眙 211700; 3. 无锡市滨湖区农林局, 江苏无锡 214000)

**摘要** [目的] 筛选对有机磷农药具有高效降解能力的微生物菌种。[方法] 在有机磷农药富集地区采样, 利用选择培养的方式筛选对有机磷农药具有高效降解能力的微生物菌种, 对筛选到的微生物进行鉴定, 并研究其降解特性。[结果] 在长期受有机磷农药污染的环境下采集 56 份土壤及污水样本, 从中筛选到可高效降解有机磷农药的菌株 JWDP-16, 其对氧化乐果的最高降解率达 59.80%, 该菌对其他有机磷农药具有广谱降解能力, 同时表现出良好的遗传稳定性, 通过分类鉴定确定该菌为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)。[结论] 菌株 JWDP-16 对有机磷农药具有高效降解能力, 可进一步研究与开发。

**关键词** 有机磷农药; 微生物降解; 分离筛选; 菌种鉴定

中图分类号 S482 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)36-212-04

## Screening and Identification of Microorganisms with High Performance of Organophosphorus Pesticides Degrading

ZHANG Liu-liu<sup>1,2</sup>, XIA Sen-yu<sup>2</sup>, DING Ya-xin<sup>3</sup> et al (1. Jiangsu Institute of Microbiology Co., Ltd, Wuxi, Jiangsu 214000; 2. Jiangsu Nike Biological Engineering Co., Ltd, Xuyi, Jiangsu 211700; 3. Binghu District Bureau of Agriculture and Forestry of Wuxi City, Wuxi, Jiangsu 214000)

**Abstract** [Objective] To screen out microorganisms with high performance of organophosphorus pesticides degrading. [Method] We collected samples from rich area of organophosphorus pesticides, isolated and identified microorganisms with high performance of organophosphorus pesticides degrading, and studied the strains' degradation characteristics. [Result] After screening of strains from 56 samples which were collected from soil and water seriously polluted by organophosphorus pesticides, a strain JWDP-16 with high degrading ability was obtained. The stain JWDP-16 had the highest degradation rate of 59.80% to omethoate. Degradation characteristics showed that the strain JWDP-16 had broad spectrum degradation ability for other organophosphorus pesticides, and also had genetic stability. The strain JWDP-16 was identified as *Bacillus subtilis*. [Conclusion] The strain JWDP-16 has high degradation ability of organophosphorus pesticides and is worth further studying.

**Key words** Organophosphorus pesticides; Microbial degradation; Screening; Strain identification

作为一类高效、广谱的农药产品, 自 20 世纪 40 年代发明第 1 个产品“1605 对硫磷”以来, 有机磷农药(OPs)被广泛应用在农业生产上, 大幅提高了农作物的产量<sup>[1]</sup>, 目前我国的 OPs 使用量已占有所有农药使用量的 70%~80%<sup>[2]</sup>。随着 OPs 在农业上的大规模使用, 其引起的一系列问题逐渐凸显, 所带来的危害越来越被人们重视: 造成病虫害产生抗药性, 导致农药使用量逐渐加大, 使得农业生产力大幅下降, 形成恶性循环; 造成严重的农产品农药残留, 直接威胁人类健康; 严重污染土壤、水体及大气环境, 降低了周围生物种群的多样性, 破坏生态系统的平衡<sup>[3-4]</sup>。同时由于 OPs 的自然降解周期长, 使得研究人为加速其降解速度是目前急需解决的关键技术<sup>[5]</sup>。由于大部分有机磷农药均为高毒类农药, 长期过量使用对人类健康和生活环境造成严重危害, 因此, 包括有机磷农药在内的化学农药降解问题已成为目前研究的热点之一<sup>[14]</sup>。

由于微生物具有繁殖速度快、代谢能力强、不产生二次污染等特点, 因此, 利用微生物进行农药的降解是目前解决上述问题的重要手段<sup>[6]</sup>。农药的微生物降解是指利用微生物的代谢过程使农药的化学结构发生改变, 使其由有害的大分子化合物降解为无害的小分子化合物直至 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O, 实现无害化降解的过程<sup>[7]</sup>。研究表明, 微生物降解农药具有降解速度快、降解效果彻底、环境影响小、处理成本低等特点<sup>[8]</sup>。

笔者在有机磷农药富集地区采样, 利用选择培养的方式筛选了对有机磷农药具有高效降解能力的微生物菌种, 并对筛选到的微生物进行了鉴定, 以期对有机磷农药的降解研究及微生物菌剂的开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 培养基。**营养肉汤培养基(NB): 蛋白胨 10 g/L, 牛肉膏 3 g/L, 氯化钠 5 g/L, pH 7.2。营养琼脂培养基(NA): 蛋白胨 10 g/L, 牛肉膏 3 g/L, 氯化钠 5 g/L, 琼脂 15~20 g/L, pH 7.2<sup>[9]</sup>。液体选择培养基: 普通营养肉汤培养基经过灭菌后, 冷却至 50℃左右加入 1 g/L 有机磷农药。固体选择培养基: 营养琼脂培养基经过灭菌后, 冷却至 50℃左右加入 1 g/L 有机磷农药。

**1.1.2 试剂。**Taq DNA 聚合酶和 Pfu DNA 聚合酶均为 Fermentas 产品; 细菌基因组 DNA 快速抽提试剂盒及 PCR 产物纯化试剂盒均购自生工生物工程(上海)有限公司。其他试剂均购自国药试剂公司。

**1.1.3 药剂。**氧化乐果、甲胺磷、甲拌磷由江苏扬农化工集团有限公司生产; 水胺硫磷由湖北仙隆化工股份有限公司生产; 二嗪磷由河南地卫士生物科技有限公司生产; 甲基嘧啶磷由先正达公司生产; 毒死蜱由海南正业中农高科股份有限公司生产。敌敌畏、敌百虫、对硫磷由江苏纳克生物工程有限公司惠赠。

**1.1.4 主要仪器。**Biophotometer plus 分光光度计(德国 Eppendorf 公司)、C1000 核酸电泳系统(美国 Bio-Rad 公司)、ChemiDoc MP 全能型凝胶成像系统(美国 Bio-Rad 公司)、

**基金项目** 江苏省无锡市农业科技支撑-生物农业技术专项(309058-916018)。

**作者简介** 张六六(1973-), 男, 江苏泗洪人, 高级工程师, 从事农业微生物研究。

**收稿日期** 2015-11-25

AL104 型电子天平(瑞士 Mettler Toledo 公司)、PHS-3CT 实验室 pH 计(上海今迈仪器有限公司)。

## 1.2 方法

**1.2.1 样本的采集。**采样地点:①江苏苏北地区某有机磷农药生产企业污水处理区及工厂、仓库周边土壤;②无锡附近地区经常喷洒有机磷农药或最近喷洒过有机磷农药的大田、果园、蔬菜大棚等。采样方法:①对于土壤样品的采集,用预先灭菌的小铲子取表土及地表下 5~10 cm 处的土样 1 000 g 左右,盛于预先灭菌的牛皮纸袋中,扎紧<sup>[10]</sup>;②对于废渣等样品,用预先灭菌镊子夹入灭菌的牛皮纸袋中,扎紧;③对于污染水样,用灭菌带盖小玻璃瓶盛约 100 ml 水样。所有采集得到的样品均标明时间、地点和环境等情况。

**1.2.2 样本中菌种的分离与纯化。**称取 1 g(或 1 ml)采集获得的样本加入到 10 ml PBS 缓冲液中,振荡分散 2 h。取 1 ml 振荡后的溶液加入到 100 ml 液体选择培养基中,37 °C、200 r/min 条件下培养 24 h。将培养后的菌液涂布于固体选择培养基上,37 °C 培养并定期观察,挑取在选择培养基上正常生长且菌落形态不同的菌株进行划线分离直至单菌落,保藏。

**1.2.3 高活性、高有机磷农药降解能力菌株的筛选。**

**1.2.3.1 初筛。**以菌落在相同条件下菌落生长水解圈的大小和生长繁殖能力作为初筛依据。首先将分离到菌株点接种在固体选择培养基中央,37 °C 培养 48 h,观察其生长情况并测量水解圈的大小,3 次重复。同时用接种环挑取菌株接种于液体选择培养基中,每组 3 次重复,37 °C、200 r/min 条件下培养 48 h,测定其  $OD_{600}$  值。

**1.2.3.2 复筛。**采用分光光度计测定菌株对氧化乐果的降解能力<sup>[11]</sup>。磷含量( $x$ )与吸光度( $y$ )之间的线性关系良好,标准线性方程(图 1)为: $y = 0.558 2x + 0.016 5$ ,  $R^2 = 0.999 2$ 。

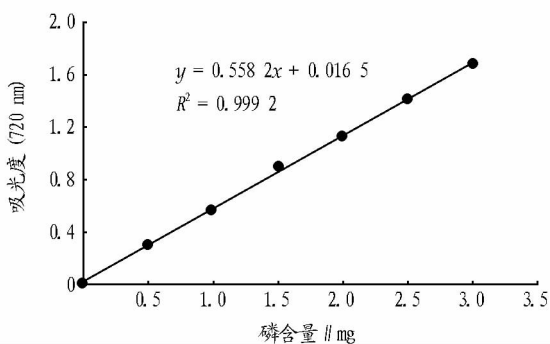


图 1 磷含量对吸光度值的标准曲线

将初筛获得的菌株接种至液体选择培养基中,以不接种的空液体选择培养基作为对照,试验进行 5 次重复,37 °C、200 r/min 条件下培养 72 h。采用分光光度法分别测定培养前后培养液中有机磷含量,按照公式:有机磷农药降解率 =  $(M_2 - M_1) / M_1 \times 100\%$  (其中,  $M_1$  为培养后的有机磷含量,  $M_2$  为培养前的有机磷含量),计算有机磷降解率,考察各菌株对有机磷农药的降解能力。

**1.2.4 菌种有机磷农药降解特性研究。**

**1.2.4.1 有机磷农药广谱降解能力的研究。**选择甲胺磷、

胺硫磷、甲拌磷、敌敌畏、敌百虫、二嗪磷、甲基嘧啶磷、对硫磷、氯吡硫磷(毒死蜱)9 种常见的有机磷农药,分别与营养肉汤培养基配制成 1 g/L 的液体选择培养基,采用“1.2.3”复筛方法研究复筛获得的菌株对 9 种有机磷农药的广谱降解能力。

**1.2.4.2 菌种降解能力的遗传稳定性研究。**对复筛获得的菌种进行传代培养,采用“1.2.3”复筛方法分别测定初始菌株( $F_0$ )、第 5 代菌株( $F_5$ )和第 10 代菌株( $F_{10}$ )对氧化乐果的降解能力,确定菌种对有机磷农药降解能力的遗传稳定性。

**1.2.5 有机磷农药降解菌的分类鉴定。**

**1.2.5.1 菌落形态及显微结构观察。**将筛选获得的有机磷农药高效降解菌涂布于营养琼脂培养基上,观察菌落形态。采用结晶紫对其细胞进行染色,观察菌种的显微结构。

**1.2.5.2 生理生化鉴定。**根据菌落形态及显微结构鉴定的结果,按《常用细菌系统鉴定手册》<sup>[12]</sup>和《常见细菌系统鉴定手册》<sup>[13]</sup>上的鉴定指标对降解菌进行生理生化鉴定。

**1.2.5.3 分子鉴定。**采用 16S rDNA 的方法对有机磷农药高效降解菌进行分子鉴定,设计的引物为 5'-AGAGTT-TATCTGCCG-3'和 5'-GGTACCTTGTTACGATT-3'。采用细菌基因组 DNA 快速抽提试剂盒提取降解菌基因组,并进行 PCR 试验,PCR 反应条件为:94 °C 预变性 5 min;94 °C 变性 1 min,52 °C 退火 1 min,72 °C 延伸 2 min,共 30 个循环;72 °C 延伸 10 min,4 °C 保存。PCR 产物采用 PCR 产物纯化试剂盒进行纯化,纯化产物进行琼脂糖凝胶电泳(1.4% 琼脂糖)验证,并送生工生物工程(上海)有限公司测序,将测序结果与序列库进行比对并构建系统发育树。

## 2 结果与分析

**2.1 初筛结果**通过对样本中菌种的分离和纯化,共获得 25 株可在含有 1 g/L 氧化乐果的选择培养基中生长的菌株,将其依次编号为 JWDP-01~JWDP-25。再经过生长繁殖能力及水解圈大小的测定,发现 JWDP-05、JWDP-09、JWDP-10、JWDP-16、JWDP-24 5 株菌对氧化乐果的耐药性较强,在含药的选择培养基上可产生较大的水解圈,同时  $OD_{600}$  值也明显大于其他菌株(表 1),表明其生长繁殖能力较高。因此,选用该 5 株菌作为复筛的出发菌株,测定其对氧化乐果的降解能力。

**2.2 复筛结果**由图 2 可知,与对照组相比,初筛分离到的 JWDP-05、JWDP-09、JWDP-10、JWDP-16、JWDP-24 5 株菌对氧化乐果的降解能力有大幅提高,表明其对有机磷农药均有一定的降解作用,其中以 JWDP-09 和 JWDP-16 最突出,因此,选用 JWDP-09 和 JWDP-16 作为进一步研究的菌种,对菌株的有机磷农药降解特性进行研究。

**2.3 菌种有机磷农药降解特性的研究结果**

**2.3.1 广谱降解能力。**由表 2 可知,JWDP-16 菌株对 9 种不同的有机磷农药均有良好的降解作用,降解能力表现为更好的广谱性,而 JWDP-09 菌株对敌敌畏、甲基嘧啶磷和对硫磷几乎无降解作用,对其他几种有机磷农药的降解能力也普遍弱于 JWDP-16 菌株。

表1 初筛结果

| 序号 | 菌株编号    | 菌株来源       | 水解圈大小//mm | OD <sub>600</sub> |
|----|---------|------------|-----------|-------------------|
| 1  | JWDP-01 | 农药厂区内      | 3.8       | 0.156             |
| 2  | JWDP-02 | 农药厂区内      | 7.8       | 0.222             |
| 3  | JWDP-03 | 农药厂区内      | 6.6       | 0.195             |
| 4  | JWDP-04 | 农药厂生产区附近土壤 | 4.9       | 0.134             |
| 5  | JWDP-05 | 农药厂生产区附近土壤 | 15.5      | 0.455             |
| 6  | JWDP-06 | 农药厂生产区附近土壤 | 6.0       | 0.201             |
| 7  | JWDP-07 | 农药仓库附近土壤   | 2.3       | 0.114             |
| 8  | JWDP-08 | 农药仓库附近土壤   | 13.9      | 0.265             |
| 9  | JWDP-09 | 农药仓库附近土壤   | 17.4      | 0.487             |
| 10 | JWDP-10 | 农药仓库附近土壤   | 15.5      | 0.435             |
| 11 | JWDP-11 | 农药厂区污水处理池  | 9.4       | 0.372             |
| 12 | JWDP-12 | 农药厂区污水处理池  | 5.7       | 0.213             |
| 13 | JWDP-13 | 农药厂区污水处理池  | 3.4       | 0.129             |
| 14 | JWDP-14 | 农药厂区污水处理池  | 11.6      | 0.068             |
| 15 | JWDP-15 | 农药厂区污水处理池  | 11.4      | 0.072             |
| 16 | JWDP-16 | 农药厂区污水处理池  | 18.4      | 0.504             |
| 17 | JWDP-17 | 农药厂区污水处理池  | 2.9       | 0.115             |
| 18 | JWDP-18 | 农药厂排污口     | 0.4       | 0.018             |
| 19 | JWDP-19 | 农药厂排污口     | 5.9       | 0.284             |
| 20 | JWDP-20 | 农药厂排污口     | 7.8       | 0.304             |
| 21 | JWDP-21 | 无锡滨湖区某果园   | 3.2       | 0.177             |
| 22 | JWDP-22 | 无锡滨湖区某蔬菜地  | 8.8       | 0.348             |
| 23 | JWDP-23 | 无锡滨湖区某蔬菜地  | 4.2       | 0.196             |
| 24 | JWDP-24 | 无锡滨湖区某蔬菜大棚 | 16.6      | 0.474             |
| 25 | JWDP-25 | 无锡滨湖区某蔬菜大棚 | 6.1       | 0.251             |

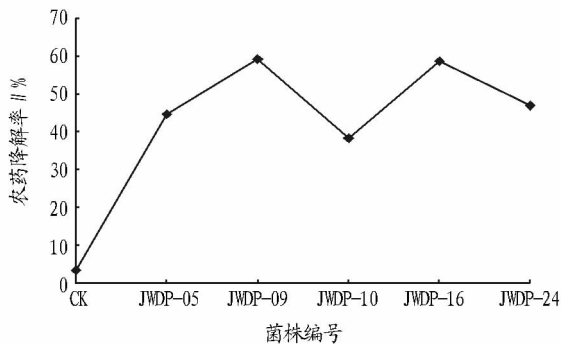


图2 复筛结果

表2 JWDP-09和JWDP-16菌株的广谱降解能力

| 有机磷农药种类   | 校正农药降解率* //% |         |
|-----------|--------------|---------|
|           | JWDP-09      | JWDP-16 |
| 甲胺磷       | 40.02        | 33.95   |
| 水胺硫磷      | 31.13        | 40.21   |
| 甲拌磷       | 12.88        | 36.46   |
| 敌敌畏       | 3.45         | 21.63   |
| 敌百虫       | 10.56        | 18.77   |
| 二嗪磷       | 27.98        | 61.09   |
| 甲基嘧啶磷     | 0.26         | 27.45   |
| 对硫磷       | 1.45         | 38.04   |
| 氯吡硫磷(毒死蜱) | 50.67        | 46.67   |

注:\* 校正农药降解率 = (处理组农药降解率 - 对照组农药降解率) / (1 - 对照组农药降解率) × 100%。

2.3.2 降解能力的遗传稳定性。由表3可知, JWDP-09和JWDP-16 2株菌分别经过5代次和10代次的传代培养后,对

有机磷农药的降解能力均表现出良好的遗传稳定性。综合该2株菌对有机磷农药的广谱降解能力与遗传稳定性,确定JWDP-16菌株为进一步研究发酵及生产的出发菌株,并对其进行分类鉴定。

表3 有机磷农药降解能力的遗传稳定性

| 菌株编号    | 传代次数            | 水解圈大小//mm | 校正降解率//% |
|---------|-----------------|-----------|----------|
| JWDP-09 | F <sub>0</sub>  | 16.90     | 59.09    |
|         | F <sub>5</sub>  | 18.20     | 60.10    |
|         | F <sub>10</sub> | 17.20     | 58.33    |
| JWDP-16 | F <sub>0</sub>  | 18.55     | 57.43    |
|         | F <sub>5</sub>  | 18.21     | 59.80    |
|         | F <sub>10</sub> | 17.67     | 58.13    |

## 2.4 降解菌 JWDP-16 的分类鉴定结果

2.4.1 菌落形态及显微结构的观察。结果表明,在营养琼脂培养基上培养24 h后, JWDP-16菌落直径达到0.5~0.8 cm,乳白色,不透明,有脐状突出,迎光观察呈白蜡状,边缘不整齐,有褶皱。显微结构观察显示:经过结晶紫染色后, JWDP-16为长杆状,长2.5~3.5 μm,宽0.8~0.9 μm,以成对或链状排列,有明显的椭圆形芽孢,芽孢中生或次端生,无荚膜。根据观察结果初步确定该菌种为芽孢杆菌类菌株。

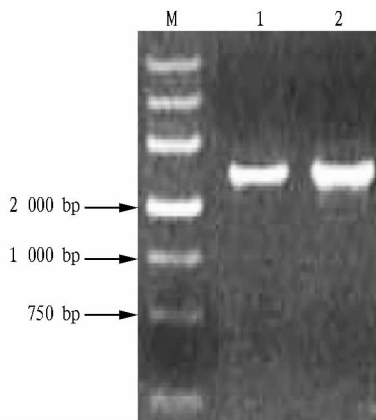
2.4.2 生理生化鉴定结果。根据生理生化鉴定结果(表4),对比细菌鉴定手册上的指标,初步判断 JWDP-16为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)。

表 4 JWDP-16 菌株生理生化试验鉴定结果

| 鉴定项目           | JWDP-16 | 枯草芽孢杆菌  |
|----------------|---------|---------|
| 运动性            | +       | +       |
| 葡萄糖            | +       | +       |
| 木糖             | +       | +       |
| L-阿拉伯糖         | +       | +       |
| 甘露醇            | +       | +       |
| 柠檬酸            | +       | +       |
| 过氧化氢酶          | +       | +       |
| 淀粉水解           | +       | +       |
| 明胶水解           | +       | +       |
| 酪素水解           | +       | +       |
| 酪氨酸水解          | -       | -       |
| 7% NaCl        | +       | +       |
| pH 5.7 营养肉汤培养基 | +       | +       |
| pH 6.8 营养肉汤培养基 | +       | +       |
| 最高生长温度/℃       | 50~55   | 45~55   |
| 最低生长温度/℃       | 5~15    | 5~20    |
| VP 试验          | +       | +       |
| VP 中的 pH       | 5.5~8.0 | 5.0~8.0 |
| 卵磷脂酶           | -       | -       |
| 厌氧生长           | -       | -       |
| 硝酸盐还原          | +       | +       |
| 形成吡啶           | -       | -       |
| 利用丙酸盐          | -       | -       |

注：“+”表示阳性反应；“-”表示阴性反应。

**2.4.3 分子鉴定结果。**将 PCR 产物进行凝胶电泳,获得 1 400~1 600 bp 长度的基因序列(图 3)。将 PCR 产物纯化后进行测序,结果表明该基因序列的长度为 1 533 bp。将序列在 NCBI 上进行比对,证实 JWDP-16 菌株为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*),并构建了相应的发育树(图 4)。



注:M. DNA Marker; 1,2. JWDP-16 菌株。

图 3 JWDP-16 菌株的 16S rDNA 电泳图谱

### 3 结论与讨论

该研究表明,在农药厂、果园、蔬菜地等经常接触有机磷农药的地区采集到 56 份样本,从中筛选到 25 株农药降解菌,其中 JWDP-16 菌株对有机磷农药氧化乐果的降解能力最强,培养 72 h 的最高降解率达到 59.80%。通过对 JWDP-16 菌株降解特性的研究表明,该菌对甲胺磷、水胺硫磷、甲拌磷等 9 种有机磷农药具有良好的广谱降解能力。同时传代试验表

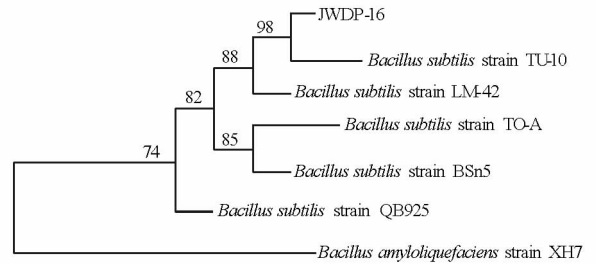


图 4 JWDP-16 菌株系统发育树

明,第 5 代、第 10 代与初始菌株间的降解能力无明显差异,表现出良好的遗传稳定性。经过多步鉴定,确定 JWDP-16 菌株为枯草芽孢杆菌。枯草芽孢杆菌具有生长繁殖能力强、易于工业化生产、抗逆性强、易于在土壤中生存、对人畜及环境无害等特点,一直以来是微生物领域研究和应用的重点。

由于微生物在生长繁殖能力方面的优势,使得微生物降解农药技术成为解决农药降解问题的关键手段<sup>[15]</sup>。段海明<sup>[16]</sup>研究表明从有机磷农药及土壤样本中分离到的 3 株蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)对有机磷农药甲基对硫磷、毒死蜱和三唑磷均具有良好的降解效果;杨慧<sup>[17]</sup>从有机磷农药生产车间土壤中分离到 2 株对氧化乐果具有降解能力的菌株,一株为假单胞菌属(*Pseudomonas* sp.),另一株为气球菌属(*Aerococcus* sp.)。可见,在有机磷农药污染严重的区域仍有大量微生物存在,这些微生物主要以分解代谢有机磷农药获得相应的营养物质和能量供其生长繁殖,从而达到降解农药的目的。目前,农药降解菌主要有 2 种应用方式:一是采用固定化技术,该技术可以维持较高的生物活性和酶活性<sup>[18]</sup>。赵仁邦等<sup>[19]</sup>研究了草酸青霉 ZHJ6 固定化后对有机磷农药甲胺磷的降解作用,结果表明降解率从原来的 60% 提高到 70%。二是制成性质稳定的微生物菌剂,该方法主要是将微生物菌体与惰性载体进行混合造粒。王连祥等<sup>[20]</sup>利用枯草芽孢杆菌制成的复合微生物菌剂研究对农药的降解作用,结果表明该微生物菌剂对土壤使用 3 d 后,农药降解率最高达 90% 以上。同时可将降解农药的微生物菌种与能解磷解钾、固氮等作用的土壤功能性菌种进行结合,制成具有多种功能的复合微生物菌剂,也是农用微生物菌剂开发的一个重要研究方向。该研究通过筛选对有机磷农药具有高效降解能力的微生物菌种,获得 1 株可高效降解有机磷农药的菌株 JWDP-16,并确定其为枯草芽孢杆菌,为微生物菌剂开发提供了材料。

### 参考文献

- [1] RAGNARS DOTIR K V. Environment fate and toxicology of organophosphate pesticides[J]. J Geol Soc, 2000, 157: 859-876.
- [2] 刘维屏. 农药环境化学[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [3] 林玉锁,龚瑞忠,朱忠林. 农药与生态环境保护[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
- [4] 李钦云,赵玲玲. 有机磷农药对食品的污染及防治[J]. 工业卫生与职业病, 2005, 31(4): 260-263.
- [5] 钟宁,曾清如,姜洁凌,等. 有机磷农药的降解及其研究进展[J]. 现代农药, 2005, 4(6): 1-5.
- [6] 金志刚,张彤,朱怀兰. 污染物生物降解[M]. 上海:华东理工大学出版社,1997: 213-214.

(下转第 253 页)

### 3 西双版纳旅游地质资源特色

西双版纳旅游地质资源非常丰富,范围广,分布集中,品位较高。具有民族、人文景观、生物和地质资源多样性,展现了柔美奇特幽静的特色,有非常高的旅游观赏和开发价值。境内分布大片原始森林,没有工业污染,游客可以感受到大自然的奇特和异域的傣族风情。

除了热带地质景观,独有的傣族、基诺族等民族风情,西双版纳又是世界级的动植物王国,对国内外的地质学、社会学、民族学、人类学、语言学、地理学、植物学、动物学等专业学者有极大的吸引力<sup>[6]</sup>。

西双版纳是国内重要的避寒圣地,优质的气候资源促进大量的外来人口来此消费定居。



图6 勐远溶洞

### 4 现状与结论

**4.1 旅游地质资源开发现状** 传统的西双版纳旅游开发重视少数民族风情、人文古迹、动植物保护区等资源,目前这类资源市场运作、旅游宣传和相关基础设施的建设都很成熟。现已经开发的地质遗迹资源只有翠云和勐远溶洞、勐满温泉等个别景区,安麻山变质岩地貌和曼典瀑布景观、大中河瀑布和天生桥岩溶地貌景观、勐遮冰川地貌和曼洪花岗岩

瀑布地貌景观等都没有得到合理的规划开发,不仅没有发挥其应有的作用<sup>[7]</sup>,甚至有些景点受到较严重的破坏。

**4.2 结论** 西双版纳各类地质遗迹资源调查研究是下一步对其合理综合开发的前奏。作为云南省和全国的重要旅游地区,西双版纳历经几十年的旅游开发,目前仍停留在旅游者对人文古迹和民族风情的观察和感受,热带雨林的观光<sup>[7]</sup>,甚至更多人停留在对泼水节的狂欢上<sup>[8]</sup>。地质遗迹资源的开发是对西双版纳旅游业发展一次新的飞跃,促进旅游的二次创业和当地经济平衡增长。

地质遗迹资源是在漫长的地质历史中形成的,对于短暂的人类历史来说是不可再生的在开发过程中,应该注意地质环境对旅游业和当地居住生活的影响,提前做好地质和环境评价工作<sup>[9]</sup>。

与人文遗产和景观资源的开发一样,旅游地质资源开发还要考虑景区接待能力和环境承载力的影响,交通运输条件和基础设施改善与建设,外来游客对本地居民社会交流和少数民族文化的强势被同化及濒危遗产保护等诸多方面。

### 参考文献

- [1] 国家统计局社情民意调查网. 统计公报[EB/OL]. [2015-11-01]. <http://my12340.cn/article.aspx?ID=3273>.
- [2] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990:附图4.
- [3] 狄弘,陈述云,袁忠玉,等. 云南省旅游地质资源的开发研究[R]. 昆明:云南省环境地质监测总站,1989:225.
- [4] 赵亮. 云南丽江旅游地质资源及开发[J]. 云南地质,2005,24(11):98-107.
- [5] 李玉辉. 地质公园研究[M]. 北京:商务印书馆,2006.
- [6] 杨世瑜. 云南地质资源旅游资源化策略探索[J]. 云南地质,2008,27(4):391-407.
- [7] 李波. 云南旅游地质景观类型与区划研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2009.
- [8] 王建堂. 西双版纳旅游资源及其开发利用[J]. 河南大学学报(自然科学版),1995,25(4):65-70.
- [9] 刘文杰,李红梅. 西双版纳旅游气候资源[J]. 自然资源,1997(2):62-66.
- [7] 周斌,方萍,张亚雷,等. 有机磷农药生物降解技术研究进展[J]. 化工环保,2005,25(5):353-354.
- [8] 王永杰,李顺鹏,沈标. 有机磷农药广谱活性降解菌的分离及其生理性研究[J]. 南京农业大学学报,1999,22(2):42-45.
- [9] 钱存录,黄仪秀. 微生物学实验教程[M]. 北京:北京大学出版社,1997.
- [10] 中华人民共和国农业部. 土壤检测 第1部分:土壤样品的采集、处理和贮存:NY/T 1121.1-2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [11] 李志瑞. 有机磷农药降解菌的分离筛选及其降解性能的初步研究[D]. 西安:西北大学,2008.
- [12] 沈萍,范秀容,李广武. 微生物学实验[M]. 北京:高等教育出版社,1996:1-214.
- [13] 李秀珠,蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [14] MULBRY W W, KEARNEY P C. Degradation of pesticides by microorganisms and the potential for genetic manipulation[J]. Crop Prot, 1991, 10:334-346.
- [15] 朱福兴,王沫,李建洪. 降解农药的微生物[J]. 微生物学通报,2004,31(5):120-123.
- [16] 段海明. 毒死蜱降解菌的筛选、降解特性及其固定化研究[D]. 泰安:山东农业大学,2011.
- [17] 杨慧. 有机磷农药降解菌的分离、鉴定及固定化研究[D]. 哈尔滨:黑龙江大学,2008.
- [18] 吴晓磊,刘建广,黄霞,等. 海藻酸钠和聚乙烯醇作为固定化微生物包埋剂的研究[J]. 环境科学,1992,14(2):18-31.
- [19] 赵仁邦,靳存华,刘卫华. 草酸青霉 ZHJ6 固定化后对甲胺磷农药降解的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(26):247-251.
- [20] 王连祥,闫豪,袁方曜,等. 不同微生物菌剂降解土残农药的研究[J]. 山东农业科学,2010(4):75-78.

(上接第215页)