环境工程

Environmental Engineering

血粉对 DDTs 污染农田土壤修复过程中微生物的影响

王 辉 刘春跃 王英刚 孙丽娜

( 沈阳大学 区域污染环境生态修复教育部重点实验室，沈阳 110044 )

摘要:血粉原位修复 DDTs 污染土壤技术具有成本低、环境友好的特点，有良好的应用前景。为了研究血粉原位修复 DDTs 污染农田土壤过程中对微生物的影响，分析了血粉原位修复 DDTs 污染土壤过程中土壤酶活性和 DDTs 降解菌 的变化情况，对血粉原位修复 DDTs 污染过程中土壤微生物的变化情况进行研究。结果表明: 添加血粉和葡萄糖可以 显著提高过氧化氢酶和转化酶活性，但脲酶活性提高程度不显著。修复1 个月后，土壤酶活性达到最大值;然后，随着 修复时间的增加，酶活性不断降低。与葡萄糖相比，血粉易于吸附在土壤颗粒上且不溶于水，能够长效地提高土壤中 酶活性。添加血粉辅以定期翻土有利于 DDTs 降解微生物的增殖，同时显著提高了血粉原位修复 DDTs 污染土壤过程 中土壤脲酶、过氧化氢酶、转化酶的活性，有利于土壤中 DDTs 的降解。

关键词：血粉；土壤酶活性；DDTs降解菌；土壤微生物

DOI:10.13205/j． hjgc． 201806034

EFFECT OF BLOOD MEAL ON MICROBIAL IN THE PROCESS OF DDTs CONTAMINATED

FARM SOIL REMEDIATION

WANG Hui，LIU Chun-yue，WANG Ying-gang，SUN Li-na

(Key Laboratory of Regional Environment and Eco-Remediation, Ministry of Education, Shenyang University,  
Shenyang 110044 ， China)

Abstract: In-situ remediation technology of DDTs contamination soil using blood meal is a cost-effective and eco-friendly remediation method． In order to study its effects on the soil microbial, the degradation rate of DDTs, soil enzyme activities and DDTs degradation bacteria were analyzed, and the effects on soil microbial were studied in in-situ remediation experiment of DDTs contaminated using blood meal． Catalase activity and invertase activity were significantly improved, but urease activity wasn't evident in in-situ soil remediation using blood meal or glucose． The soil enzyme activities reached maximum after one month remediation, then began to reduce with the increase of remediation time． Compared with glucose, blood meal was a long-term additive to improve the soil enzyme activities． Because of the increase of soil aeration and oxygen content, remediation technology using blood meal supplemented by plowing the soil once a week could significantly improve the soil enzyme activities and the DDTs degradation rate, and had good effect on degradation of DDTs．

Keywords: blood meal; soil enzyme activities; DDTs degradation bacteria; soil microbial

**0**引言

DDTs 作为典型的持久性有机污染物,因其具有 难降解性、较强的生物富集性、对人体的毒性,其污染 受到人们的普遍关注13。DDTs是斯德哥尔摩大会 首批提出的 12 种禁止使用的持久性有机污染物之

\* 辽宁省自然科学基金指导计划**(** 20170540656 **) ;** 沈阳市科学事业费竞 争性选择项目“城市生态环境风险管理及其修复技术研究”**;** 国家重点 基础研究发展计划项目**(** 973 计划**) (** 2014CB441106**)** 。 收稿日期**:**2017 －06 －04 一。 作为有机氯杀虫剂,1983 年以前 DDTs 在我国应 用非常广泛,作为抗疟药品,在更安全、有效的替代产 品出现前，DDTs目前仍然被使用閥*。*故DDTs污染 在很长一段时间内,仍将是我国农田土壤普遍存在的 污染问题。

血粉是一种非常规动物源性饲料,富含赖氨酸和 亮氨酸,以及缬氨酸、组氨酸、苯丙氨酸、色氨酸,已作 为食料在畜禽养殖中得到广泛应用。 利用血粉原位 修复DDTs污染土壤是一种生物刺激修复污染土壤

技术，具有良好的经济性和环境友好性，并且工艺简 单，有利于修复范围广、污染物成分复杂、污染物浓度 相对较低的农田土壤，应用效果较好［3，7］。土壤微生 物在土壤养分生物地球化学循环和有机物降解中发 挥着关键作用［8-10］，而土壤酶活性作为土壤生化参数 可以在很大程度上反映土壤微生物的状态和土壤质 量［11］。而对于血粉修复 DDTs 污染过程中对于土壤 微生物的影响目前仍处于空白阶段，亟需进行相关 研究。

因此本文选取血粉原位修复DDTs污染土壤过 程为研究对象，分析了血粉原位修复 DDTs 污染土壤 过程中不同修复时间的 DDTs 降解率、土壤酶活性 ( 土壤脲酶活性、过氧化氢酶活性和转化酶活性) 和 DDTs 降解菌，研究了血粉原位修复 DDTs 污染对土 壤微生物的影响，为进一步研究血粉原位修复 DDTs 污染的修复机理提供基础。

**1** 实验方法 **1. 1** 供试地点

实验在沈阳市沈北新区前进农场D3号大棚中 进行(地理坐标为 45°05'02.62"N, 123°31'42. 79"E)*。* 实验开始前首先对供试土壤进行翻土，使供试土壤的 耕作层(0 ~20 cm)混合均匀，然后把供试土壤划分 为lmxlm的地块，以备不同实验方案的实施。每 块地块间隔 30 cm， 以减少不同地块之间的相互影 响。 试验开始前，对土壤样品进行采集，并对土壤的 基本性质进行分析。 使用激光粒度仪( MS 2000， Mastersizer， GBR)对土壤粒径分布进行测定，其黏 粒、粉粒和砂粒所占比例分别为 26. 11%、72.82%、 1.07%，为粉砂质黏土。按照1：2.5的土水比使用去 离子水进行稀释M , pH为6. 87 - 7. 17 (PB-10, Sartorius， 德国)。 使用重铬酸钾法测定土壤有机质 含量［13］， 其值为 5.44%。 土壤中阳离子交换量为 13.09 cmol/kg,污染物 DDTs 含量为 47. 94 隅/kg， w( TN) 为 3. 23 mg/kg， w( TP) 为0. 29 mg/kg， 土壤中 C：N：P 为 100：10.2：0.92(质量比)*。*

**1. 2** 实验设计

为研究血粉原位修复 DDTs 污染对土壤微生物 的影响，共设置2组实验：1)血粉对原位修复DDTs 污染土壤过程中对微生物的影响：分别添加5 g血粉 (X5)、g葡萄糖(T5)到供试土壤中，混合均匀后保 持田间最大持水率的 40%进行实验， 同时设置空白 对照组( CK) ， 研究血粉原位修复 DDTs 污染对土壤 微生物的影响。2)不同条件对血粉原位修复DDTs 污染土壤过程中对微生物的影响：在添加5 g血粉的 基础上， 以 Na3PO4 作为 P 源，( NH4) 2SO4 作为 N 源， 调整土壤 C： N： P 为100： 15： 1， 研究血粉原位修复 DDTs污染对土壤微生物影响(X5NP)；在添加5 g血 粉的基础上，每周对土壤耕作层进行翻土，研究定期 翻土( X5F) 对于血粉原位修复 DDTs 污染对土壤微 生物影响。

修复期为 5 个月，在实验开始前、修复1 个月、修 复3 个月、修复5 个月后，采用对角线采样法对每块 实验地块进行土壤样品的采集，采样深度为耕作层。 一部分土壤样品低温保存， 用于测定 DDTs 降解菌 数;一部分土壤样品风干后剔除植物残渣和石块等杂 物，然后经过研磨过筛，用于测定土壤酶活性。

**1. 3** 样品分析

**1. 3. 1** 土壤微生物活性的测定

土壤酶活性的测定：使用靛酚蓝比色法测定土壤 脲酶活性［14］， 脲酶活性以每小时每克土壤可将尿素 转化成NH+-N的量表示;使用高锰酸钾滴定法测定 过氧化氢酶活性［15］，过氧化氢酶活性以每20 min 每 克土消耗的 0. 02 mol/L 高锰酸钾的体积( mL) 表示 (mL/(g-20 min))；使用3,5-二硝基水杨酸比色法测 定土壤转化酶活性［16］， 转化酶活性以每天每克土壤 对应消耗的葡萄糖的量表示。

土壤中 DDTs 降解菌数的测定：土壤中 DDTs 降 解菌数采用最大概率数法( MPN) 进行测定［13，17］。 在 该方法中使用以DDTs作为底物中碳源的96孔细胞 培养板，将含有土壤微生物的土壤悬浊液加入96 孔 细胞培养板后，在室温下培养24 h后记录结果，使用 MPN 表格确定 MPN 值［13，18］。

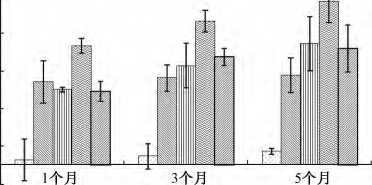
**1. 3. 2** 土壤中DDTs浓度的测定

经风干、研磨、过筛后， 准确称量 5 g 土壤样品， 1：1( 体积比) 的正己烷和丙酮的混合液作为萃取溶 剂［19］， 使用 ASE300 快速溶剂萃取仪进行萃取。 萃取 液使用硫酸磺化法进行净化［20］，净化后用色谱纯正 己烷定容到 1 mL， 转入气相进样瓶中后， 待测。 添加 外标法使用 Varian CP-3800 气相色谱测定土壤中 DDTs 浓度［21］，其色谱柱为 CP-sill8CB 型石英毛细管 柱(30 m X 0. 32 mm X 0. 25 »m)，色谱柱升温程序为: 柱温 120 °C(1 min) —*>* 230 °C(25 °C /min，0 min)—*>* 255 C (3 C /min，0 min) — 280 C (20 C /min， 5 min) ; 进样口温度 250 C ; 检测器温度 300 C ; 载气为高纯氮气, 流速 0. 6 mL /min; 尾吹 30 mL /min; 进样 量1 pX （不分流）*。*

样品在测试过程中进行空白样品和基质加标回 收率测定,方法回收率为89.2% -107. 1%*。*为确保 实验数据的准确性和可信性,每个实验操作设置3 个 平行样,本研究中所有结果均为 3 个平行样的算术平 均值。

**2** 结果和讨论

**2.1**血粉对原位DDTs污染土壤修复效率的影响 添加血粉对 DDTs 污染土壤修复效率的影响结 果见图1*。*可以看出：与CK相比较，添加血粉后5个 月的 DDTs 污染土壤平均修复效率从3. 59%提高到 了32. 18%, 提高效率显著, 这说明添加血粉强化原 位土著微生物修复 DDTs 污染土壤是切实可行的 对比X5、X5F和X5NP处理，可以看出定期翻土对于 添加血粉原位修复 DDTs 污染土壤起到了促进作用, 而调整C： N： P比的影响较小，甚至会产生抑制作用*。*

**2. 2** 血粉对修复 DDTs 污染土壤过程中酶活性的 影响

45.00

35.00

25.00

15.00

5.00

-5.00

修复时问

—CK；二 T5；二 X5；二 X5F；二 X5NP” 图 1 血粉原位刺激土著微生物修复 DDTs 污染土壤

Fig． 1 The remediation effects on DDTs contaminated soil to indigenous microbial using blood meal

经过5个月的修复,CK组、T5组和X5组在修复 开始前、修复 1,3,5 个月后土壤样品中过氧化氢酶 转化酶和脲酶活性见图2*。*可以看出：与CK组相比, 添加血粉和葡萄糖后土壤中过氧化氢酶、转化酶和脲 酶活性都得到不同程度的提高,而 CK 组中酶活性未 发生显著变化。 这主要是由于葡萄糖可以为微生物 提供碳源,而血粉中碳氮的含量都很丰富, 这些物质 可以刺激土壤中微生物的增殖,进而促使土壤中酶活 性增加。 同样的现状在其他一些研究中也被发现：尚 杰等［21］研究表明通过施加生物炭为土壤提供碳源可 以增加土壤微生物量, 提高了土壤酶活性,改善了土 壤生物环境; 陈心想等［15］研究发现通过添加生物炭 为土壤提供碳源可以显著提高土壤脲酶、过氧化氢酶 活性; 赵路玥等［22］研究发现过氧化氢酶和脲酶活性 与土壤中氮含量呈正相关,因此增加土壤中碳氮含量 有利于土壤中过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性的 增加。

25

(一，启 UI0Cu.」UESJ^羊W划

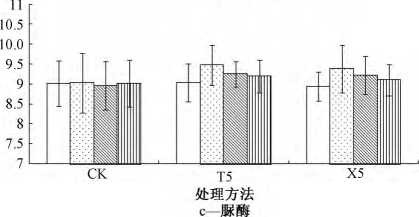
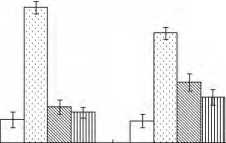
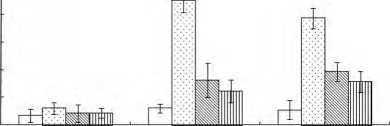
23

21

19

17

13

在4次样品采集中,T5组和X5组中3种酶的活 性均在修复后1 个月达到最大值,而随着修复时间的 增加, 酶活性不断降低。 这主要是由于添加葡萄糖和 血粉后,可以促进土壤微生物的增殖, 进而引起土壤 酶活性的提高。 但随着修复过程的进行,土壤中添加 的葡萄糖和血粉被不断消耗,因而修复1 个月后土壤 酶活性开始降低。 当修复 1 个月时, T5 组中 3 种酶 的活性显著高于 X5 组, 这主要是由于与血粉相比, 葡萄糖是一种可以被微生物快速利用的碳源,葡萄糖 添加到土壤中会刺激土著微生物较快的大量增加,因 此修复1个月T5组中3种酶的活性显著高于X5组。当修复1个月以后，T5组中3种酶的活性开始低于 X5 组，这主要是由于葡萄糖溶解度较大，血粉为颗粒 状，在水中溶解度差，因而在修复过程中葡萄糖易于 随着土壤径流而流失， 而血粉易于吸附在土壤颗粒 中，不易流失造成的。

T5 X5

处理方法

**a—**过氧化氢酶

CK T5 X5

处理方法 厂转化酶

「0 d；二1个月；二：3个月；曲血5个月。

图2血粉原位修复DDTs污染土壤对酶活性的影响

Fig． 2 The effect on soil enzyme activities in in-situ remediation of DDTs contaminated using blood meal

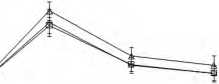
与CK组相比较，添加血粉和葡萄糖后土壤中过 氧化氢酶、转化酶和脲酶活性都得到提高，但提高程 度差异显著。 过氧化氢酶和转化酶活性提高显著，修 复1个月T5组和X5组较CK分别提高了 1. 77,1. 08 倍和1.36,0.91倍，修复5个月后与CK组相比较，仍 分别提高了 8.33%、23.39% 和 32.40%、33.33% 脲酶活性提高程度不显著，修复1 个月后 T5 组和 X5 组仅提高了 4. 87%和 3. 88%，修复5 个月后提高了 1.88%和 0.89%。 这可能与被试土壤为污染老化土 壤，且长期使用尿素等化肥有关。

**2. 3** 不同条件对血粉修复 DDTs 污染土壤过程中酶 活性的影响

修复开始前、修复1，3，5 个月后不同修复条件下 血粉原位修复DDTs污染土壤样品中过氧化氢酶、转 化酶和脲酶活性见图3。 与 X5 组相比较， 在 X5NP 组中过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性不但未得到提 高，部分酶活性反而受到抑制。 这可能与血粉中已经 含有丰富的氮素，再调整碳氮磷比，会使土壤中氮含 量较高，反而抑制了土壤中微生物的活性有关。 与 X5组相比较,X5F组中3种酶活性得到了显著提高, 即每周对土壤耕作层进行翻土有利于提高血粉原位 修复DDTs污染土壤过程中土壤酶活性，其中过氧化 氢酶活性在修复 1，3，5 个月后分别提高了7.87% 8.54%、 7.89%， 转化酶活性提高了 10.61% 23. 77%、23.10%，脲酶活性提高了 8. 40%、4. 66% 2. 75%。 定期翻土可以增加土壤的通气性和氧含量， 已有研究发现提高土壤孔隙度，增加土壤通气性，有 利于提高土壤脲酶、土壤转化酶的活性，有效促进土 壤养分转化[23 ，因此每周翻土可以显著提高血粉原 位修复DDTs污染土壤过程中土壤酶活性。

**2. 4** 血粉对修复 DDTs 污染土壤过程中 DDTs 降解 菌数的影响

使用最大概率数法对血粉原位修复 DDTs 污染 土壤过程中 DDTs 降解菌数进行测定（ 以每 g 干土 计），结果见图4*。*可见:在CK组中，存在着DDTs降 解菌，这表明未经处理的土壤中仍存在着具有降解 DDTs 的微生物，很多降解微生物已被相关研究者分

**1**个月 **3**个月

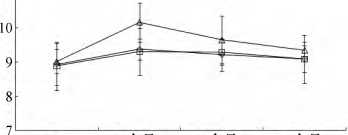
修复时间  
**a—**过氧化氢酶

**5**个月

**OOOOOOOOOO**

**3197531975**

***04 11* 11 11 *11* 11**



**0 1**个月 **3**个月 **5**个月

修复时间

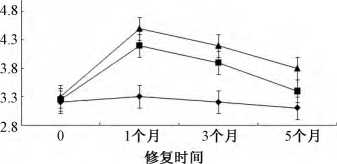
**C** 一腺酶

**1**个月 **3**个月

修复时间 **b-**转化酶

**5**个月

(rquMJli)、濫暫



—CK； 一■—X5； — ▲—X5F。

图4血粉对土壤中DDTs降解菌数的影响

Fig． 4 The effect of blood meal on the DDTs degradation bacteria number in the soil

—X5； — X5NP； — △—X5F。

图3不同条件对血粉原位修复DDTs污染土壤中酶活性的影响

Fig． 3 The effect on soil enzyme activities in in-situ remediation of DDTs contaminated using blood meal under different conditions

(vsruos、 報W灌邂 SHCK3

离 出 来， 例 如 白 腐 真 菌 的 Phlebia lindtneri GB1027 24、鞘氨醇单胞菌属的DB-1阴、产碱菌属的 DG-5[26 。 在 CK 组中，虽然存在 DDTs 降解菌，但降 解菌数量较少，这是在自然条件下 DDTs 难降解的原 因之一。 随着血粉的添加，土壤中微生物在投加血粉 的刺激下不断增殖， DDTs 降解菌的数量也得到增加， 因此DDTs的修复效率得到提高。在研究期内，DDTs 降解菌数量在 1 个月时达到最大值，然后随着添加的 血粉的不断消耗， 微生物数量开始下降。 在 X5F 组 中，由于翻土可以提高土壤孔隙度，增加土壤通气性， 有利于好氧微生物的生长, 使 DDTs 降解菌数较 X5 组显著增长。综上所述,添加血粉辅以定期翻土,可 以增加土壤通气性, 有利于 DDTs 降解微生物的增 殖,在实际修复实践中可以选取加血粉辅以定期翻土 作为修复 DDTs 污染土壤的修复技术。

**3**结论

通过对血粉原位修复 DDTs 污染土壤过程中 DDTs 降解率、土壤酶活性和 DDTs 降解菌的分析,研 究了血粉原位修复 DDTs 污染土壤过程中对土壤微 生物的影响,结果表明：

1. 添加血粉和葡萄糖可以不同程度地提高土壤 中过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性,过氧化氢酶和转 化酶活性提高显著, 脲酶活性提高程度不显著, 且在 修复后 1 个月达到最大值, 但随着修复时间的增加, 酶活性不断降低。与葡萄糖相比,血粉能够长效地提 高土壤中酶活性。定期翻土可以显著提高血粉原位 修复 DDTs 污染土壤过程中土壤脲酶、过氧化氢酶、 转化酶的活性。
2. 原位土壤中存在 DDTs 降解菌,但降解菌数量 较少。添加血粉辅以定期翻土可以增加土壤通气性, 有利于 DDTs 降解微生物的增殖, 可以促进土壤中 DDTs 的降解。

参考文献

**[**1 **]** Li F B**,**Li X M**,**Zhou S G**,**et al． Enhanced reductive chlorination of DDT in an anaerobic system of dissimilatory ironreducing bacteria and iron oxide**[**J**]**． Environmental Pollution**,**2010 **,**158**：** 1733-1740．

**[**2 **]** El-temsah Y S**,**Oughton D H**,**Joner E J． Effects of nano-sized zero-valent iron on DDT degradation and residual toxicity in soil**：** A column experiment **[**J**]**． Plant and Soil**,**2013**,**368**：** 189-200．

**[**3**]** 王辉**,**王晓旭**,**孙丽娜**,**等． 血粉刺激修复 DDTs 污染农田土壤

的现场实验J ■中国环境科学**，**2017**,** 37(2): 654-660.

**[**4 **]** Yao F X**,** Yu G F**,** Bian Y R**,** et al. Bioavailability to grains of

rice of aged and fresh DDD and DDE in soils**[**J**]**. Chemosphere**,** 2007**,** 68**：** 78-84.

**[**5 **]** Walker K R**,** Ricciardone M D**,** Jensen J. Developing an international consensus on DDT**：** A balance of environmental protection and disease control**[**J**]**. international journal of hygiene and environmental health**,** 2003**,** 206**：** 423-435.

**[**6 **]** Wong M H**,** Leung A O W**,** Chan J K Y**,** et al. A review on the usage of POP pesticides in China**[**J**]**. Chemosphere**,** 2005**,** 60**：** 740-752.

**[**7 **]** US-EPA. Anaerobic Bioremediation Using Blood Meal for Treatment of Toxaphene in Soil and Sediment**[**EB / OL**]**. https**：** / / clu-in. org / download / remed /542r05006 / blood\_meal. pdf**,[**2012- 10-3**],** 2012.

**[**8 **]** Leininger S**,** Urich T**,** Schloter M**,** et al. Archaea predominate among ammonia-oxidizing prokaryotes in soils**[**J**]**. Nature**,** 2006**,**

442**：** 806-809.

**[**9 **]** Cusack D F**,** Silver W L**,** Torn M S**,** et al. Changes in microbial community characteristics and soil organic matter with nitrogen additions in two tropical forests**[**J**]**. Ecology**,** 2011 **,** 92**：** 621 -632.

1. Zhao S C**,** Li K J**,** Zhou W**,** et al. Changes in soil microbial community**,** enzyme activities and organic matter fractions under long-term straw return in north-central China **[**J**]**. Agriculture**,** Ecosystems and Environment**,** 2016**,** 216**：** 82-88.
2. Wang W W**,** Page-Dumroese D**,** Lv R H**,** et al. Soil enzyme activities in pinus tabuliformis (carriere**)** plantations in northern China**[**J**]**. Forests**,** 2016 **(**7**) ：** 112-123.
3. Wen X**,** Wang T T**,** Chen W W**,** et al. Adsorption of DDT in soil using a single and combined effect of cadmium and Tween80**[**J**]**. Chemistry and Ecology**,** 2013**,** 29**(**4**) ,** 340-352.
4. Wang C P**,** Yu L**,** Zhang Z Y**,** Wang B L**,** et al. Tourmaline combined with Phanerochaete chrysosporium to remediate agricultural soil contaminated with PAHs and OCPs**[**J**]**. Journal of Hazardous Materials**,** 2014**,** 264**：** 439-448.

14**]** 严昶升.土壤肥力研究法**[**M**]**.北京：农业出版社**，**1988：

141-147.

**[**15**]** 陈心想**,**耿增超**,**王森**,**等. 施用生物炭后塿土土壤微生物及酶 活性变化特征J -农业环境科学学报**，**2014**,** 33 (4) : 751- 758.

16**]** 关松荫.土壤酶及其研究法M**]**-北京：农业出版社**，**1986：

271-319.

1. Wrenn B A**,** Venosa A D. Selective enumeration of aromatic and aliphatic hydrocarbon degrading bacteria by a most-probable­number procedure**[**J**]** . Canadian Journal of Microbiology**,** 1996**,** 42**:** 252-258.
2. ISO 4831 Microbiology-General Guidance for the Enumeration of Coliforms-Most Probable Number Technique**[**S**]** .
3. 张岩**,** 张景发**,** 陈艳梅**,** 等. 加速溶剂萃取 －气相色谱法测定 土壤中有机氯农药和多氯联苯J .岩矿测试**，**2010**,** 9 (5):

491-496.

1. 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 14550—2003 土壤中六六 六和滴滴涕测定的气相色谱法**[**S**]**.北京：中国科学出版社**，** 2003.
2. 尚杰**,** 耿增超**,** 王月玲**,** 等. 施用生物炭对土微生物量碳、氮及 酶活性的影响J -中国农业科学**，**2016**,** 49⑹：1142J151.
3. 赵路玥**,** 何腾兵**,** 林绍霞**,** 等. 贵州典型何首乌种植基地土壤养 分与土壤酶活性的关系J**]**-贵州农业科学**，**2014**,** 42(7): 73-76.
4. 罗兴录**,**岑忠用**,**谢和霞**,** 等. 生物有机肥对土壤理化、生物性 状和木薯生长的影响J -西北农业学报**,**008**,** 17 (1**) :** 167- 173.
5. 肖鹏飞**,** 李玉文**,** Kondo R. Tween60 和 SDS 强化白腐真菌修复 DDT污染土壤J**]**.中国环境科学**，**2015**,** 35 (12) : 3737- 3743.
6. 张明星**,** 洪青**,** 何健**,** 等. DDT 降解菌株 DB-1 的分离、系统发育 及降解特性J .中国环境科学**，**2005**,** 25(6) : 674-677.

26**]** 刘文斌.DDTs好氧降解菌株的筛选及其降解特性研究D -

大连**：** 大连理工大学**,** 2009**：**19-23.

第一作者:王辉**(**1981 －**),**男**,**副教授**,**博士**,**主要从事土壤修复、环境 监测和评价研究工作。[huiwang425@126.com](mailto:huiwang425@126.com) 通信作者:孙丽娜**(**1960－**),**女**,**教授**,**博士**,**主要从事环境修复研究工 作。 Sln629@ 163. com