doi :

应用生态学报 2007年3月第18卷第3期

Chinese Journal of Applied Ecology Mar 2007 **18(3** )： 607 - 612

石油污染土壤修复植物的根-土界面微生物特征

蔺 昕’李培军‘2孙铁玷‘2李晓军" 孙丽娜’

C沈阳大学环境工程重点试验室，沈阳11004%彳中国科学院沈阳应用生态研究所，沈阳110016)

摘 要 选取沈抚灌区的主要修复植物菴麻为实验材料,分析了菴麻根区土壤、根际土壤、根 面、根内4个层面上细菌和真菌的数量，优势菌种的生理生化特征，及细菌菌株生长营养类 型，揭示了根-土界面微生物区系特征与石油污染土壤生物修复的关系.结果发现:修复植物 根-土界面上，细菌数量为根际〉根面〉根内，真菌数量为根内〉根面〉根际,根面细菌与真 菌数量均处于根际与根内区域微生物数量之间；修复植物菴麻根面区域优势细菌种类最多， 根内区域优势真菌种类最多;根际与根内的优势细菌具有较强的降解大分子物质的能力;根 面细菌在营养需求分类上可归为氨基酸需求菌群.

关键词污染土壤根际微生物特征植物修复

文章编号 1001 -9332(2007)03 -0607 -06中图分类号 X172文献标识码 A

**M icrob io logical characteristfcs of phy toran ed iation plant root soil hterfece for petroleum con tan hated soil** LN Xin1, LI Pei jun1,2, SUN Tie-heng1,2, LIXiao jun, SUN Lina *^Key Labomtory of Environmental Engineerings Shenyang University^ Shenyang* 110044 *China； 2 Institute of Applied Ecology^ Chinese Acadeny of Sciences Shenyang* 110016 *China).—Chin J. ApplEcol,* 2007 18(3)： 607 -612

**Ab stract** Will tie petroleum- con tan inated soil under 7? *icinus amm un is* L phytoremed iation in Shenfii irrigation area of Shenyang as testmaterial tiis paper studied 4ie quantitative variations of bacteria and fingi physio bgical and biochemical characteristics of dem inantm icrob ial species and nutritional types of bacteria in root zone diizosphere root plane and root inside The rcsuits shewed tiat tie quantity ofbacteria decreased in tie older of rfiizospher^ root p lane> root inside while tiat of fingiwas in tie sequence of toot inside > ixx)t p lane> ±izo sphere The dan inant spe cies ofbacteria and filngiwere most abundant in root plane and root inside respective^ and tie dem inant bacterial species in root plane and root inside had a stronger capability in degradingmae ro^molecular substances The nutritional demand ofbacteria in mot p lane was of amino acid type

**Key words** contaminated soil rtiizospher^ microb io bgical characteristic^ phy form ed iation

1引 言

根际(rfiizosphere)或根圈指植物根系及其影响 所及的范围.它作为土壤圈中一个重要微生态系统， 愈来愈受到重视[⑼.由于植物根系分泌物的存在， 植物根际有着特殊的物理和化学性质，其微生物活 动和生物量与无根系的土壤有很大区别2.根际微 生物一般呈梯度分布，其数量显著超过根际以外的 土壤，产生根际效应(rhizosphere effect).根际效应 通常用根圈土壤微生物与邻近的非根圈土壤微生物 数量之比(R/S)来表示Mi. R/S值一般为20〜50 有的高达100[2],这种微生物数量的增长，可能源于 根系分泌物和根际代谢降解污染化合物等因素 根系具有独特的物理、化学和生物性质，它能促进植 物生理功能的发挥.因此，根际微生态研究有利于阐 明根际微生物群落的变化、污染物归趋模式及污染 情况下植物的生态适应机制，从而推动石油污染土 壤生物修复技术的发展与应用[a 1417].

石油污染土壤的微生物修复已有大量研 究[5-610\但对根际微生物的生长率、优势种的来 源、发育和作用，以及根在各个发育阶段中根际微生 物群所产生的生态环境变化，及其与污染物降解的 动态研究鲜有报道.由于石油污染土壤中植物所处 生境特殊，植物种间适应污染物的方式存在很大差 异，因此往往导致根际微域的明显变化宀15].植物-

土壤污染生态系统研究为植物根际微生态研究提供 了很好的模式，为探讨和理解植物与土壤污染的相 互关系，揭示群落演替规律和土壤变化提供了新的 思考角度［4S18］.本文以植物根际研究方法为手段, 从根区土壤、根际、根面和根内4个不同角度，测定 了石油污染土壤植物根-土界面微生物群的区系变 化,揭示了根-土界面微生物区系特征与石油污染土 壤生物修复的关系.

**2**材料与方法

**2.1**供试材料

**2.1.1**供试土壤 试验微区土壤类型为草甸棕壤 土，土壤基本化学性质见表1

表**1** 土壤基本化学性质

**Tab 1 Basic chon ical properties of the test soil**

深■度 pH N P2O5 K2O 有机卿

Soil （ g- kg 1 ） （ g- kg" ） （ g- kg-1 ） Oiganic

depfti matter

（g） （ kg"）

0 ~20 5.73 1.37 0.92 18.76 24.9

**2.1.2**修复植物 以沈抚灌区的菴麻*（R icinus can- munis L* ）为主要修复植物，研究修复现场农田微区 植物根际土壤微生物区系的特征.

**2.1.3**培养基配制 培养基类型主要有：1）基础培 养基（B）：葡萄糖 1 g C£1 0.1 g K2HPO4 1 gNQ 0.1 g KNO3 0.5 g Feci 0.01 g MgSO4 - H2O 0.2 g蒸馄水11,田7・©2）氨基酸培养基（A）：基础培 养基卄酪氨酸4 g- L1； 3）生长素培养基（G）：基 础培养基上加入半胱氨酸50隹、硫胺素100歷泛 酸100卩咨尼克酸100 Ag、肌醇500 Ag、维生素H 0.1卩昏维生素B6 200卩吝维生素B2 200卩昏维生素 B12 2隹、蒸憾水1匕4）氨基酸-生长素培养基 （AG）：基础培养基+2）、3）中的氨基酸及生长素； 5）酵母膏培养基（Y）：基础培养基+1 g- L“酵母 膏；6）土浸液培养基（S）：基础培养基（750 m 1） +土 浸液（250ml）； 7）酵母膏-土浸液培养基（YS）： 土浸 液培养基+1 g- I/】酵母膏

**2.2**试验方法

**2.2.1**根-土界面微生物的测定方法 根-土界面微 生物采用土壤悬液稀释平板测定法［绚.

**2.2.2**样本采集 自田间采集带完整根系的土块， 轻轻抖动,去掉多余土壤，尽可能不扰乱根系，从而 实现根际土壤和非根际土壤的分离.将带有根系的 土块用取样袋装好，带回实验室，进行样本处理和微 生物分析.

**2.2.3**根际微生物的分离 将采集的样本，用小刀 削去根外大部分土块，必要时以适量无菌水浸泡，软 化后除去多余的土壤.然后，将根系在空气中轻轻抖 动，除去根与根之间的非根际土，直至根面上保留着 紧密附着而不易脱落的土壤为止.

称10 g带土的根系,置于含100ml无菌水的三 角瓶中，震荡15min洗下的土为根际土的菌悬液. 用无菌银子取出根系，再用无菌滤纸吸干，称重.根 系样本洗涤前后的重量差为根际土重量.

按土壤微生物分析中的稀释平板法，进行菌悬 液的稀释、接种、培养、鉴定和计数.微生物数用每克 干土含菌量表示.以下微生物测定操作与此相同. **2.2.4**根面微生物的分离 将上述分析过根际微生 物并用无菌滤纸吸干的根系，移至另一瓶稀释用的 无菌水中（这时要在加进根的前后连同容器称2次 稀释无菌水重量），震荡15 min获得根面菌悬液 后，以10倍稀释法稀释成一系列稀释菌悬液.用稀 释平板法进行分离.根面微生物数量用每克鲜根的 含菌量表示.

**2.2.5**根内微生物的分离 称鲜根样本0・5 g经无 菌水充分洗净，用无菌滤纸吸干表面水分，置于1 g • L^HgCl溶液中，浸3min对根表面进行灭菌.再 用无菌水冲洗3〜5次，除去残留药剂.将灭菌后的 根置于无菌钵中研磨，用无菌水稀释后，再用平板稀 释法分离获得根内细菌.

**2.2.6**根区微生物的分离在每个样方中分别确定 生长水平中等的3株植物，在植物基部挖开，顺植物 根部取连在根上的粒径VI on的土壤作为根区土 壤，并将3株植物的根区土样混合成1个样品，作为 该样方植物的根区土样.称10 g根区土壤,置于含 100ml无菌水的250 ml三角瓶中，震荡15 min静 置30min后取上清菌悬液测定根区微生物.

**2.2.7**细菌营养类型的区分方法 将分离获得的优 势菌落，移植于土浸液琼脂斜面上，28 °C下培养5 d将各纯菌株分别移植于5 ml上述7种液体培养 基的试管里，28 °C恒温培养5 d根据培养基的混浊 度,判断每种培养基里细菌的生长程度.在同一培养 基中把混浊度从低到最高进行等级划分.

**2.3**试验设计

试验小区设在位于沈阳市东陵区深井子镇康红 村沈抚灌区的生物修复试验田，试验周期为1个植 物生长季（160 d）,微区面积为28 m2 （7 mX4 m）.

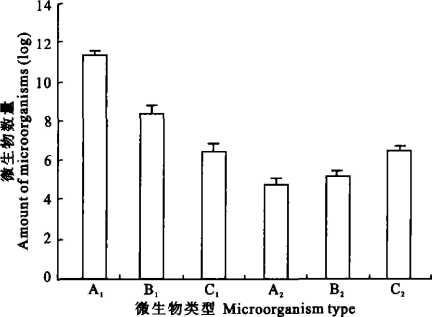
**3**结果与分析

**3.1**植物根-土界面微生物数量的变化

研究发现，菴麻生长后土壤根-土界面微生物数 量发生明显变化,在根-土界面上细菌数量先上升、 后下降，差异为2〜3个数量级.细菌数量：根区为 1.48X109个・gJ干土，根际为2・24\*10口个・g\_1 鲜土,根面为3.13X108个・才1鲜根,根内为3.2X 106个• g"鲜根.植物根际区域细菌数量最大，比根 区土壤中细菌数量多2个数量级，说明植物生长可 以刺激微生物数量迅速增加，提高有机污染物的去 除效率.

真菌数量增加1个数量级，具体为：根区1.24 X10f・gJ干土，根际5.2X104个・gJ鲜土，根 面1.43X 105个・g"鲜根，根内2.7X106个・g\_1 鲜根.由此可见,根际土壤中的真菌数量可以达到根 区中的4倍;根内的真菌数量比根面的真菌数量多 出一个数量级.在植物根内对污染物降解起主要作 用的是真菌菌群.

由图1可见，在修复植物菴麻根-土界面上，细 菌数量:根际〉根面〉根内；真菌数量:根内〉根面 〉根际.根际微生物是紧密附着在根表面的土壤颗 粒中的微生物，其数量受植物与土壤污染物的影响. 根面(rtiizoplane)微生物是根系表面和直接粘附在 根面上的一切可进入根系表面组织的微生物，与根 部结合得比较牢固.由于根表面微生物直接生长在 根上,其主要利用植物根系分泌物，所以直接影响植



图**1**菴麻根-土界面微生物数量

**Fig 1** Number of m icrooiganisn s in tie root soil interfece of castor oil plant

A：根际 Rhizosphere B 根面 RhizoplanQ C：根内 Inside root 1)细 菌 Bacteria 2)真菌 Fungi

物的养分吸收，对有机污染物的生物降解起主要作 用.图1中微生物分布趋势表明，在根-土界面的不 同区域，细菌与真菌数量呈相反方向增长，根际细菌 最多，真菌最少;在根内则真菌多,细菌少.这种现象 与生物对土壤中污染物的降解有关，需要进一步对 污染物的生物代谢中间产物进行分析工16].

**3.2**优势微生物的生理生化特性

**3.2.1**优势细菌的形态与生化特征 由表2可以看 出，修复植物萬麻根-土界面上优势细菌多为杆菌和

表**2**根-土界面优势细菌形态与生化特征

**Tah 2 M orphological and biochan ical characteristics of dan hated bacteria ii the root soil interfoce**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分区  Sub- area | 数量  Amount | 菌株  编号  Number | 形态特征  Morphofogical characteristic | | 生化特征  B iochem ical characteristic | | | | | |
| 颜色  Colors | 形状  Shape | 革兰氏染色  Gram stain | 油脂降解  Lipid degrading | 尿素水解  Urea hydno^ze | 明胶穿刺  G Ki ten puncture | 淀粉水解  Starch hydro^ze | 卩引味变蓝  Indole degrading |
| 根际 | 1 | BG1 | 橙色 | 杆状 | G\_ | + + | + | + | + + | - |
| Rhizosphere |  |  | Orange | Bacihs |  |  |  |  |  |  |
| 根面 | 5 | BGF1 | 橙色 | 杆状 | G\_ | 十+ | + | + | +十 | - |
| Rhizoplane |  |  | Orange | Bacihs |  |  |  |  |  |  |
|  |  | BGF2 | 白色 |  | G\_ G十 | - | - | + + | + + + | - |
|  |  |  | White |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | BGF3 | 浅黄色 | 球形 | G + | + | + + | - | - | 一 |
|  |  |  | Buff | Sphericity |  |  |  |  |  |  |
|  |  | BGF4 | 乳白色 |  | G\_ | - | - | - | + + | - |
|  |  |  | Ivoiy |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | BGF5 | 白色 | 球形 | g+ | + + | + + | + | - | - |
|  |  |  | White | Sphericity |  |  |  |  |  |  |
| 根内 | 2 | BGI1 | 浅黄色 | 球形 | g+ | + | 十十 | - | - | - |
| Inside root |  |  | Buff | Sphericity |  |  |  |  |  |  |
|  |  | BG12 | 白色 | 杆状 | G\_ | + + + | 十十 | + | - | - |
|  |  |  | White | Baciiis |  |  |  |  |  |  |
| 根区土壤 | 6 | SF03B01 | 红色 | 球形 | G\_ | + + + | - | + | + + | - |
| Root area |  |  | Red | Sphericity |  |  |  |  |  |  |
| soil |  | SF03B02 | 白色 | 球形 | G\_ | + + | + | + | + | - |
|  |  |  | White | Sphericity |  |  |  |  |  |  |
|  |  | SF03B03 | 橙色 | 杆状 | G\_ | + + | + | + | + + | - |
|  |  |  | Orange | Bacilus |  |  |  |  |  |  |
|  |  | SF03B04 | 白色 | 杆状 | G + | + + + | - | + + + | + + | - |
|  |  |  | White | Bacilus |  |  |  |  |  |  |
|  |  | SF03B05 | 浅黄色 | 球形 | g+ | + | + + | - | - | - |
|  |  |  | Buff | Sphericity |  |  |  |  |  |  |
|  |  | SF03BF | 白色 | 杆状 | g+ | + + + | - | - | + + |  |
|  |  |  | White | Bacilus |  |  |  |  |  |  |

-无活性 No activi仪 活性 Active +4^性较强 Strong仪 active + + 性强 Veiy strong仪 active

种属

Species genera

表**3**根-土界面优势真菌鉴定

**Tab 3 Identification of don iiated fiingi ii the root soil iiterfoce and their character Fl** ~~菌株编号 颜色

Sub- area Amount Number Cofors Shape

根际 2

Rhizosphere

根面 3

Rhizoplane

根内 7

Inside

root

根区土壤 6

Root area soil

FG1 正面绿色，反面黄色

Front green and back yelkw

FG2 正面白色，中间呈粉红色，背面红色

Fnontwhits pink inside and back red

FGF1 浅黄色，边缘乳白色

Buff and ivoiy brm

FGF2 白色

White

FGF3 正面蓝绿色，背面黑色

Front cyan and back black

FGI1 浅黄色

Buff

FG12 正面绿色，背面黑色

Front green and back black

FGB 正面白色，中间呈粉红色，背面红色

Frontwhite pink inside and back red

FGI4 黑色

Black

FGK 蓝色

Blue

FGI6 白色

White

FGU 灰黑色

Grey

SF03F01 黑色，边缘呈黄色

Black and yelkw brm

SF03F02 黄色

Yelkw

SF03F03 正面棕色，背面绿色

Front brcwn and back green

SF03F04 正面绿色，背面红色

Front green and back red

SF03F05

SF03F06

粉末状

Pcwder

绒毛状

F loss

毛绒状

F loss  
绒状

F loss

拟青霉

***Penici Ilium*** 镰刀菌

***Fusarium*** 串珠镰刀菌

***F. m on ilifoim e*** 镰刀菌

***Fusarium***

色hi色hi  
白w白w

毛状

Hair

绒毛状

F loss

圆状突起

Round tuber

分粒状

Grain

绒毛放射状

F bss and radiation

短帚霉

***Scopu lariopsis brevicau lis*** 微小毛霉

***Mu cor pu sills***

镰刀菌

***Fusarium***

腊叶枝苞霉

***C lado^)orium herb a rum*** 曲霉

***A^tergillus***

具抱子，待定

W ifti spore indefinite

拟青霉

***Pen ici Ilium***

绒状

F loss

绒状

F loss 毛状 Hair

小克银汉

***Cunn ingham ella***

球菌.革兰氏染色表明，阳性菌与阴性菌各占50%. 根面的优势细菌种类较多；根面微生物通过胞外酶 来分解大分子物质,把胞外酶分泌扩散到细胞外，将 大分子物质分解成小分子；小分子物质能被微生物 吸收和利用⑴1.这个过程可通过底物的变化来证 明.脂类水解后产生的脂肪酸改变培养基的田，其 中的中性红指示剂使培养基从淡红色变为深红色， 用红色晕圈半径大小可判断菌株对油脂的降解能 力.根内优势细菌具有较强的降解油脂的能力;根际 优势细菌也有降解油脂的能力，并可以分解其它有 机大分子物质（如淀粉、尿素、明胶等）；在根表面， 只有60%的优势细菌具有降解油脂的能力，其对其 它有机大分子物质降解的能力各不相同.卩弓P朵变蓝 反应表明,根际优势细菌没有降解多环芳炷的能力. 3.2.2优势真菌的形态特征 由表3可以看出，植 物根-土界面的优势真菌主要为镰刀菌属*（Fusart um* ）和拟青霉*｛Penicillium* ），其中根内的优势真菌种 类较多.

3.3优势细菌的营养类型

根区细菌对植物能够提供不同的营养,据此可 以将细菌的营养类型划分成7种类型（表4）.优势 细菌在不同营养类型培养基中培养5 d后的观察结 果见表5•在修复植物的根区土壤，优势细菌以土浸 液需求型为主，需要的营养包括氨基酸、生长素和酵 母膏.在修复植物的根际，优势细菌以A（氨基酸）、 AG （氨基酸和生长素）、Y（酵母膏）需求群为主要类

表**4**营养需求不同的细菌类群

**Tab 4 Bacteria identified w ith different nutritive dan ands**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 菌群  M icro flora | 培养基类型Culture type | | | | | |
| B | A | G | AG | Y | S YS |
| 单纯营养需求  Pure culture demand | + |  |  |  |  |  |
| 氨基酸需求群  Amino Acid demand | - | + |  |  |  |  |
| 生长素需求群  Auxin demand | - | - | + |  |  |  |
| 氨基酸和生长素需求群  Amino acid+auxin demand | - | - | - | + |  |  |
| 酵母膏需求群  Yeast demand | - | - | - | - | + |  |
| 土浸液需求群  Soil steep demand |  |  |  |  |  | + |
| 酵母膏和土浸液需求群  Yeast+ soil steep demand |  |  |  |  |  | + |

十生长良好Grew well -生长不良Grew not we 11

型，同时对**B**的需求也较多.从优势细菌的营养需 求可以看出，在修复植物根际中，细菌生长主要受根 分泌物的影响.根分泌物不仅提供优势细菌需要的 各种营养，而且促使细菌发挥其降解作用.

| 表**5**根-土界面优势细菌的营养类型  **Tab 5 Nutritive type of dan nation bacteria n root soil hterfece** | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分区  Sub- area | 数量  Amount | 菌株编号  Code | 賞誓要杏 |  | 培养基生长程度\*  Grewing degree in different cultures | | | | |  |
| C u ltu ie detii dncl | B | A | ***G*** | AG | Y | S | YS |
| 根际 Rhizosphere | 1 | BG1 | 氨基酸Amino acid | 0 | 3 | ***0*** | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 根面 Rhizoplane | 5 | BGF1 | 氨基酸Amino acid | 0 | 3 | ***0*** | 2 | 1 | 2 | 1 |
|  |  | BGF2 | 氨基酸Amino acid | 3 | 4 | ***2*** | 2 | 2 | 0 | 1 |
|  |  | BGF3 | 酵母膏Yeast | 1 | 1 | ***2*** | 1 | 4 | 0 | 1 |
|  |  | BGF4 | 氨基酸Amino acid | 2 | 4 | ***1*** | 4 | 1 | 1 | 3 |
|  |  | BGF5 | 土浸液 Soil steep | 0 | 0 | ***0*** | 1 | 0 | 2 | 1 |
| 根内 Inside root | 2 | BGI1 | 酵母膏Yeast | 1 | 1 | ***2*** | 1 | 4 | 0 | 1 |
|  |  | BG12 | 氨基酸和生长素Amino acid+auxin | 3 | 4 | ***4*** | 4 | 2 | 1 | 2 |
| 根区土壤 | 6 | SF03B01 | 生长素Auxin | 1 | 1 | ***4*** | 0 | 3 | 1 | 1 |
| Root area soil |  | SF03B02 | 土浸液 Soil steep | 0 | 1 | ***1*** | 2 | 0 | 2 | 1 |
|  |  | SF03B03 | 氨基酸Amino acid | 0 | 3 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |
|  |  | SF03B04 | 土浸液 Soil steep | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 |
|  |  | SF03B05 | 酵母膏Yeast | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0 | 1 |
|  |  | SF03BF | 氨基酸和生长素Amino acid+auxin | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 | 0 | 2 |

\*将混浊度从低到高划分为0 ~4级，0 ~2级为生长不良，3 ~4级为生长良好The tiicknesswas classified into 0 ~4 degree 0 ~2 meant grcwn not well while 3 ~4 meant grcwn well

优势细菌的营养需求类型反映出根际环境中植 物与微生物相互影响的一个侧面.在植物根际，具有 降解污染物能力的优势细菌需要的主要营养是植物 分泌的氨基酸.

**4**结 论

1） 修复植物根-土界面上细菌数量:根际〉根面 〉根内；真菌数量:根内〉根面〉根际.根面细菌与 真菌数量均处于根际与根内区域微生物数量之间.

2） 根际区域优势细菌种类最多，根内区域优势 真菌种类最多.

3） 在植物根-土界面上，根际与根内区域的优势 细菌具有较强的降解大分子物质的能力.

4） 根面细菌在营养要求上归于氨基酸需求菌 群,说明这一区域菌群主要与根系分泌物有关.根系 分泌物使根表面的微生物数量大于其它区域.

参考文献

1. Anderson TA, Gutirie EA, W alton BT 1993. Biore mediation in tie ihizo sphere *Env ironmen tai Science and Technology,* 27（13）： 2630 -2636
2. Bachmann G, KinzelH. 1992 Physiological and eca bgical aspects of tie interactions betveen plant roots and ihizosphere soil *SoilB io logy and B ioch&n istry^* **24** （6）： 543 - 552
3. Chapman IM. 1999 The role of soil microbial tests in eco bgical risk assessment *Hum an and Ecobgical Risk Assessment* **5** 657 - 660
4. Chen Y （陈 嫣）,LiGH （李广贺），Zhang X （张 旭），*et al* 200S Effect of petroleum biodegradation and ih izosphere m icro eca system in phytorem ediation of tie polluted soil in oilfield *JoumaIofTsinghua Univer sity* （ Science and Technology）（清华大学学报•自然 科学版），**45（6）：** 784 -787 （ in Chinese）
5. Ding艮Q （丁克强），Sun TH （孙铁壬行），Li4J（李 培军 ）. 200Q Bioremediation of tie soil contaminated by petroleum hydrocaibons *Ch inese Jouma I of Ecobgy* （生态学杂志），19（2）： 50 -55 （in Chinese）
6. DingK^Q （丁克强），YinR （尹 睿），Liu &L （刘 世亮），*et al* 2002 Bioremediation for petroleum- con­taminated soil by can posting techno bgy *Chinese Jour na I of Applied Ecology* （应用生态学报），**13** （ **9** ）： 1137 - 1140 （ in Chinese）
7. Erickson LE BanksMK, Davis JjG *etal* 1994 Using vegetation to enhance in- situ bio remed iation *Environr men tai Progress,* **13：** 226 - 231

[81 GaoZM （高拯民）.1986 Study on tie Soil Plant Po+ lutantEcobgy Beijing China Science and Technobgy Press 360 - 378 （ in Chinese）

1. Hersnan LE, Klein DA 1979. Retorted oil shale effects on soilmicrob iobgical characteristics *Jouma I of*

*Environm entalQuality^ &* 520 - 524

1. LiXW （李习武），LiuZP （刘志培）.2002 Mic血 bia 1 biodegradation ofpetroleum hydrocarbons *ActaMr crob io log ica S in ica* （微生物学报），42（6）： 764 - 767 （in Chinese）
2. Lin X Li PJ Zhou QX *et al* 2004 M icrobial chanr ges in ihizospheric soils contaminated witi petroleum hydroca±ons after bioremediation *Jouma I of Environr mental Sciences* 16（6）： 987 - 990
3. LinX （蔺 昕），LiRJ （李培军），Tai PD （台培 东）,*etal* 2006 Research progress in phyto^microbial remediation of petroleum- con tarn inated soil *Chinese Journal of Ecology* （生态学杂 志），**25** （ 1 ）： 93 - 100 （in Chinese）
4. LiuZY（刘芷宇）.1997 TheMetiods ofRhizosphere Study Nanjing Jiangsu Science and Technobgy Press 115-118 （ in Chinese）
5. LuoM （罗 明），ShanZN （单娜娜），Wen Q-K （文启凯），*et al* 2002 Microbial characteristics of illizospheric soil of sane sand- fixing plants *Chinese Jouma I ofApp lied and Environm ental Bio logy* （应用与 环境生物学报），8（6）： 618 -622 （ in Chinese）
6. Radwan SS A+AwadhiH, Soikhoh NA *et al* 199& Rhizospheric hydrocarbon- utilizing microoiganisns as potential contributors to phytoremediation for iie oi仪 Kuwaitdesert *M icrob io log ica IR esea rch,* **153** （ 3 ）： 247

-251

1. SaitM, Hugenholtz B Janssen PH. 2002 Cultivation of global以 distributed soil bacteria fiun phybgenetic lineages previous^ on以 detected in cultivationr inde pendent surveys *Environm ental Microbiology^* **4** 654 -666
2. W alton BT Hoy hi an AM, Perez MM, *et al* 1994 Rhizosphere m icrobial ccmmunities as a plant defense *st* gainst toxic substances in soils / / Anderson TA Coats JR Bio remediation Through Rhizosphere Technology W ashington： American Chem ical Socie仪 82 一 92
3. Wang WE （王美娥），Zhou Q-X （周启星），Zhang tH

（张利华）.2003 Chemical behavior and ecological effects ofpollutants acting on root soil interfece *Chinese Jouma I ofApp lied E co logy* （应用生态学报），**14（** 11）： 2067 -2071 （ in Chinese）

1. WeiS^H （魏树和），Zhou Q-X （周启 星），Zhang IGS

（张凯松），*et al* 2003 Roles of ihizosphere in reme diation of contaminated soils and its mechanisns *Chr n ese Jouma I ofApp lied E co logy* （应用生态学报），**14** （1）： 143 - 147 （in Chinese）

1. Xiao L （肖琳），Yang tY （杨柳燕），Yin DQ （尹大强），*et al* 2004 E^）erment Technology ofEnr v ironmen tai Sciences Beijing China Environmental Science Press 229 - 233 （ in Chinese）

作者简介 蔺 昕，女，1977年生，博士，讲师•主要从事污 染土壤修复研究，已发表论文3篇.Tel 024-6226653^ £ mail linxin®syu edu cr linxincas©sohu ccm

责任编辑梁仁禄

\*国家自然科学基金项目(204力029)、国家重点基础研究发展计划 项目(2004CB418506).辽宁省高校科研基金项目(05L262)和辽宁省 博士后基金资助项目.

\* \* \*通讯作者.圧mail kjl206@163i ccm

2006-06-06收稿，2006-12-15接受.