

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第9期 Vol.34 No.9 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 9 期 2014 年 5 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 基于土壤食物网的生态系统复杂性-稳定性关系研究进展 陈云峰,唐 政,李 慧,等 (2173)
- 滇西北高原入湖河口退化湿地生态修复效益分析..... 符文超,田 昆,肖德荣,等 (2187)
- 典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系——案例研究
..... 李阳兵,罗光杰,白晓永,等 (2195)
- 青藏高原东缘高寒草原有毒植物分布与高原鼠兔、高原麝鼠的相关性 ... 金 樑,孙 莉,崔慧君,等 (2208)
- 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响..... 黎健龙,唐劲驰,黎秀娣,等 (2216)

个体与基础生态

- 三峡库区马尾松林土壤-凋落物层酶活性对凋落物分解的影响 葛晓改,肖文发,曾立雄,等 (2228)
- 芦苇、香蒲和蘆草 3 种挺水植物的养分吸收动力学 张熙灵,王立新,刘华民,等 (2238)
- 沙化程度和林龄对湿地松叶片及林下土壤 C、N、P 化学计量特征影响 ... 胡启武,聂兰琴,郑艳明,等 (2246)
- 内蒙古典型草原小叶锦鸡儿灌丛化对水分再分配和利用的影响 彭海英,李小雁,童绍玉 (2256)
- 遮阴对米槠和杉木原位排放甲烷的影响..... 陈细香,杨燕华,江 军,等 (2266)
- 桔小实蝇和番石榴实蝇对 6 种寄主果实的产卵选择适应性..... 刘 慧,侯柏华,张 灿,等 (2274)
- 鼠尾草属东亚分支的传粉模式..... 黄艳波,魏宇昆,葛斌杰,等 (2282)

种群、群落和生态系统

- 养分资源脉冲供给对几种微藻种间竞争的影响 李 伟 (2290)
- 不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价..... 李静鹏,徐明锋,苏志尧,等 (2297)
- 黄土丘陵区植物功能性状的尺度变化与依赖 丁 曼,温仲明,郑 颖 (2308)
- 湘潭锰矿栎树叶片和土壤 N、P 化学计量特征 徐露燕,田大伦,王光军,等 (2316)
- 黄土高原春小麦农田蒸散及其影响因素..... 阳伏林,张 强,王文玉,等 (2323)
- 尾矿区不同植被恢复模式下高效固氮菌的筛选及 Biolog 鉴定..... 李 雯,阎爱华,黄秋娟,等 (2329)
- 四川理县杂谷脑干旱河谷岷江柏造林恢复效果评价..... 李东胜,罗 达,史作民,等 (2338)

景观、区域和全球生态

- 闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体景观多样性 蔡建堤,苏国强,马 超,等 (2347)
- 面向土系调查制图的小尺度区域景观分类——以宁镇丘陵区中一小区域为例.....
..... 卢浩东,潘剑君,付传城,等 (2356)

气候变化对华北冬小麦生育期和灌溉需水量的影响..... 胡 玮,严昌荣,李迎春,等 (2367)

资源与产业生态

基于 LMDI 分解的厦门市碳排放强度影响因素分析 刘 源,李向阳,林剑艺,等 (2378)

可持续生计目标下的生态旅游发展模式——以河北白洋淀湿地自然保护区王家寨社区为例.....

..... 王 瑾,张玉钧,石 玲 (2388)

荔枝树干液流速率与气象因子的关系 凡 超,邱燕萍,李志强,等 (2401)

肿腿蜂类寄生蜂室内控害效能评价——以松脊吉丁肿腿蜂为例 展茂魁,杨忠岐,王小艺,等 (2411)

城乡与社会生态

内蒙古草原人类福祉与生态系统服务及其动态变化——以锡林郭勒草原为例.....

..... 代光烁,娜日苏,董孝斌,等 (2422)

基于农业面源污染分区的三峡库区生态农业园建设研究 刘 涓,谢 谦,倪九派,等 (2431)

“交通廊道蔓延”视角下山地城市典型样带空间格局梯度分析 吕志强,代富强,周启刚 (2442)

学术信息与动态

美国地理学家协会 2014 年会述评 孙然好,肖荣波 (2450)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 280 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-05



封面图说: 峰丛洼地石漠化——峰丛主要分布在云贵高原的边缘部分及桂西、桂西北地区,相对高度一般为 200—300m,高的可达 600m 以上。在峰丛之间,岩溶洼地、漏斗、落水洞很发育,常形成峰丛洼地或峰丛漏斗的组合形态。峰丛洼地中的土地相当贫瘠,由于当地人们依靠这些土地种植庄稼为生,石漠化的发展趋势已经越来越明显。尤其在土地承载力低、人口压力大的区域石漠化相当严重,研究峰丛洼地耕地资源分布、土地利用强度和石漠化发育状况之间的机理,有助于从本质上认识石漠化的发生,对石漠化治理实施科学指导。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306101633

李雯, 阎爱华, 黄秋娴, 李玉灵, 赵顺. 尾矿区不同植被恢复模式下高效固氮菌的筛选及 Biolog 鉴定. 生态学报, 2014, 34(9): 2329-2337.

Li W, Yan A H, Huang Q X, Li Y L, Zhao S. Isolation and Biolog identification of the high-efficiency azotobacter from iron tailing under different vegetation restoration modes. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2329-2337.

尾矿区不同植被恢复模式下高效固氮菌的筛选及 Biolog 鉴定

李 雯, 阎爱华, 黄秋娴, 李玉灵*, 赵 顺

(河北农业大学林学院, 保定 071000)

摘要: 为了从铁尾矿中获得高效土著固氮菌, 采用选择性无氮培养基从不同恢复模式下铁尾矿土样中筛选高效固氮菌, 并且通过乙炔还原法对分离出的 48 株固氮菌进行固氮酶活性测定。结果表明: 筛选出两株具有较高固氮活性菌株 Db1 与 Ec1, Biolog 鉴定为固氮菌属 (*Azotobacter*), 固氮比活力分别为 $203.20 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $307.23 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。不同植被恢复模式、物种多样性、尾矿坡向、工程措施、恢复年限均对尾矿固氮菌株数量有影响。样地处于尾矿阳坡, 或属于人造混交林, 或植被恢复年限长, 又或者实施六孔砖、坡岩造地等工程措施的尾矿植被恢复模式下筛选的固氮菌菌株数较多或固氮活力较高。

关键词: 铁尾矿恢复; 固氮菌; 菌种筛选; Biolog; 固氮活力

Isolation and Biolog identification of the high-efficiency azotobacter from iron tailing under different vegetation restoration modes

LI Wen, YAN Aihua, HUANG Qiuxian, LI Yuling*, ZHAO Shun

College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China

Abstract: Iron tailings are the wastes discharged after selecting the useful components from the grinded ore in dressing plants. The chemical composition mainly comprised iron, silicon, magnesium, calcium, aluminum, as well as a small amount of phosphorus, sulfur etc. Iron tailings are the special matrices with barren soil nutrients. A metal mine waste tailing dump is a typical degenerative ecosystem. Owing to their bad characteristics on the physical chemistry, the waste tailing dumps are going to become infertile lands generally. The wastes, such as tailings and acid mine wastewater produced during the ore dressing, not only destroy and occupy a lot of land resources but also result in serious pollution of the soil and water resources. Therefore, the research related to mining ecological restoration has become a focus. Phytoremediation is the key method for mining ecological restoration. Soil microorganism is the absolutely necessary biological factor on improving the soil environment and on further vegetation restoration in iron tailing dumps.

There is a correlation between the microorganism quantity, its enzyme activity and the soil nutrient content. Some efficient native azotobacteria are able to accommodate and improve the particular iron tailings conditions, promote the soil microbe enzyme activity and activate the mineral nutrients in the soil. Azotobacteria can promote the absorption of nutrients in plant root system, enhance the host plant disease resistance and other stress resistances, and improve the soil structure. Of the microorganisms, azotobacteria are the dominant population in soils. It is possible to screen and isolate some efficient azotobacteria in the iron tailings. However, there have not been any publications of azobobacteria in the iron tailings. Moreover, the kinds of azobobacteria

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 资助项目 (2012AA101403); 河北省科技计划项目 (12236726D)

收稿日期: 2013-06-10; **修订日期:** 2014-01-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liyuling0425@126.com

and their ability of nitrogen fixation are affected by plants, revegetation modes and site conditions. In the paper, the iron tailings soils were used for screening, isolating, analyzing of enzyme activity and Biolog identifying of azotobacteria. Soil samples were taken from the direct vegetation restoration forest (*Sabina vulgaris* forest, *Amorpha fruticosa* forest, *Populus tomentosa* forest and multi species mingled forest), the vegetation restoration forest via water and soil conservation engineering measures, the vegetation restoration forest via artificial afforestation construction, and the forest soils from different slope direction site conditions. It is the foundation for understanding the interaction mechanism between azotobacteria and host plants, and the tailings remediation mechanism. It is the base for trees selection of reforestation in iron tailings, and helpful for the improvement and development of mining areas.

Acetylene reduction method was used to determine nitrogen-fixation activity of azotobacteria. Molecular nitrogen is reduced to ammonia by nitrogenase. Some compounds with $\text{N}-\text{N}$, $\text{N}=\text{O}$, $\text{C}=\text{N}$ and $\text{C}=\text{C}$ bond also can be reduced by nitrogenase. The nitrogenase activity is analyzed according to the diversity of nitrogenase substrates. The process of acetylene being reduced to methane by nitrogenase can be quickly checked by gas chromatography simply and sensitively. The indirect determination method of nitrogenase activity has been widely applied.

In order to obtain efficient native azotobacteria for iron tailings recovery, high-efficiency azotobacteria were screened by a nitrogen-free selective medium from tailing samples of different recovery modes, and the nitrogenase activities of the 48 strains isolated were measured by acetylene reduction. Db1, Ec1 with high nitrogenase activity screened from 48 strains by acetylene reduction, were identified as Azotobacteria by Biolog analysis, and their nitrogenase specific activities were $203.20 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ and $307.23 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ respectively. The numbers of strain were affected by different recovery modes, species diversity, slope direction of tailings and engineering measures. More strains with higher nitrogenase activity can be obtained from soils of the sample plots which covered by plants for longer time, or located in the sunny slope of tailings, or adopted artificial mixed forests, or with the engineering measures of six holes brick and slope plantation.

Key Words: iron tailings recovery; azotobacteria; strain selection; Biolog; nitrogenase activity

尾矿废弃地因为物理化学上的一些不良特性而大多成为荒芜之地,废弃物(尾矿废渣和酸性矿山废水)的排放及堆存不仅破坏和占有大量的土地资源,而且导致区域(表层土壤、地表水、地下水)重金属污染^[1-2]。由于尾矿砂颗粒细小,易随风飘散,因此更能造成辐射式扩张性污染。长期以来,由于金属矿废弃地的土壤较为贫瘠,植被自然恢复缓慢,生态问题尤为严重。当前对尾矿山的改造提出了多种模式,取得了良好的效果。在研究中发现,微生物在恢复过程中起到了不可替代的作用。

氮素是植物生长必需的矿质元素,也是需求量最大的矿质元素^[3-4],而铁尾矿中有效氮含量较低^[5],所以需要借由固氮菌将空气中的氮气接转化为植物可以利用的氮素。从生态学的角度看,污染土壤生态修复研究的核心内容仍然是超积累植物和高效降解微生物的筛选及合理搭配、修复机理的探索和基于植物与微生物联合修复的根际圈效应、以广义生物修复为核心的联合修复以及修复强化措施的研究。因此固氮菌可有效改善

土壤环境,增加土壤有机质含量,促进植物根系对氮元素的吸收,能增强宿主植物的抗病性和抗逆性^[6-7]。由于铁尾矿砂基质条件恶劣,常用固氮菌很难在这样的条件下生存并发挥作用,同时微生物功能存在种间差异,筛选高效土著固氮菌成为了对于尾矿砂植被恢复起到关键作用。

铁尾矿是选矿厂在特定经济技术条件下,将矿石经粉碎,浮选中矿、精矿后余下的微粒状固体粉末^[8]。是土壤元素匮乏、养分贫瘠的一类特殊基质。土壤微生物是土壤形成必不可少的生物成分。研究表明固氮菌数量在微生物的总数中处于绝对优势地位^[9],充分说明了从铁尾矿中分离出具有高效固氮活性的固氮菌株是完全具有可能性的。但目前在铁尾矿中成功筛选分离固氮菌的研究尚未见报道。为此,本文尝试铁尾矿不同树种恢复模式土壤中固氮菌的筛选和分离,为后续的固氮菌与植物互作机制及其固氮菌对植物的固氮贡献、对尾矿的改良机制研究提供前期依据。进而为将来铁尾矿营造人工林的树种选择、促进矿区的良性改良和优

化发展提供指导。

1 材料与方法

1.1 样地概况

样地位于河北省迁安市马兰庄镇(39°51'N—40°51'N, 118°29'E—118°56'E),样地是暖温带大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷少雨,春、秋短促。日温差、年温差大,年降水量少,雨热同期,降水季节分配很不均匀,全年降水的80%集中在夏季6—8月份,期间常有暴雨。河北省迁安市的铁尾矿是由经过多年选矿作业排放出的尾矿堆积而成。

1.2 植被恢复模式

1.2.1 直接植被恢复模式

沙地柏纯林模式 2007年在尾矿砂北坡直接栽植沙地柏(*Sabina vulgaris* Ant.)容器苗4000株,株行距0.5 m×1.0 m,面积30 hm²,形成沙地柏灌木纯林。

紫穗槐纯林模式 2002年、2007年分别在尾矿砂北坡和南坡直播、补播紫穗槐(*Amorpha fruticosa* Linn.),总计面积30 hm²,形成紫穗槐灌木纯林。

毛白杨纯林模式 2007年在尾矿北坡直播毛白杨(*Populus tomentosa*)20 hm²。

混交林模式 从2002—2012年陆续在尾矿顶部平

地播种五角枫(*Acer mono* Maxim)、文冠果(*Xanthoceras sorbifolia* Bunge.)、毛白杨(*Populus tomentosa*),面积50 hm²。

1.2.2 基于水土保持工程的植被恢复模式

在公路、铁路两侧尾矿山坡面直接铺设六孔砖固定坡面并修砌排水道,在六孔砖内栽植植物,2008年在尾矿库东坡铺六棱透水水泥砖10万块,面积16 hm²,栽植紫穗槐30万株、沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)2.8万株、火炬(*Pinus taeda* Linn.)3700株、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)780棵,侧柏(*Platycladus orientalis*)960株、刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)3.8万株,该模式简称为六孔砖。

1.2.3 基于造地工程的植被恢复模式

将尾矿库削坡整地成台阶地形,台阶顶部平铺一层片麻岩风化物和普通土壤的混合物,厚度1—1.5 m,然后推土机推成平地复垦为农田,其坡面栽植豆科植物紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)护坡复绿为林地。紫穗槐于2009年4月栽植,埋深40—50 cm,株距10 cm,行距1.5 m,斜坡面积27 hm²,该模式简称为造地紫穗槐林。

以上模式统计见表1。

表1 铁尾矿的不同植被恢复模式

Table 1 Iron tailings of different vegetation restoration mode

	样地编号 Plots number								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
植被恢复模式	2007年沙	2008年六	2007年紫	2002—	2009年造	2007年紫	2007年毛	2002年紫	2012年新
Vegetation	地柏纯林	孔砖紫穗	穗槐林	2012年五	地紫穗	穗槐林	白杨林	穗槐林	采尾矿
restoration mode	北坡	槐油松混	南坡	角枫、文冠	槐林	北坡	北坡	北坡	
		交林		果、毛白杨	东坡				
		东坡		等混交林					
				平地					

按照调查样地顺序将样地用A-I编号

1.3 土壤样品的采集

2012年7月23—31日在河北省迁安市马兰庄镇铁尾矿区不同树种的植被恢复模式下采集土样,共计9个采样地点,采样地由沙地柏(*Sabina vulgaris* Ant.)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、五角枫(*Acer mono* Maxim)等植物组成。供试土样在样地距植物50 cm的地方按照五点法分层随机采样5处,取样深度分别为0—10、10—20、20—40、40—60 cm,风干混合5处土样过2 mm筛,装入自封袋中贴

好标签带回实验室。

1.4 培养基

瓦克斯曼77号培养基(分离培养)^[10]:葡萄糖10 g、磷酸二氢钾0.5 g、MgSO₄·7H₂O 0.2 g、1% MnSO₄·4H₂O溶液2滴、1% FeCl₃溶液2滴、琼脂20 g、蒸馏水1000 mL、pH值7.0—7.2。

富集培养基^[11]:葡萄糖10 g、K₂HPO₄·3H₂O 0.5 g、NaCl 0.2 g、CaCO₃ 1 g、MgSO₄·7H₂O 0.2 g、酵母膏0.5 g、琼脂20 g、蒸馏水1000 mL、pH值7.0—7.2。

1.5 固氮菌的分离与筛选

将上述土样各称取 1 g, 加到装有 9 mL 无菌水并带有灭过菌转子的三角瓶中, 置于磁力搅拌器上震荡使其混合 (10 min)。将上述土壤悬液作梯度稀释^[12], 稀释度为 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} , 每一浓度设置 3 个重复, 用移液枪吸取不同浓度稀释液各 0.5 mL 放入 3 个平板中。再用无菌玻璃涂棒将菌液在平板上涂抹均匀, 标记好后用封口膜封好, 在 28 °C 条件下倒置培养 3—5 d。选取长势良好的菌株, 用接种环挑取不同种类的单菌落, 划线分纯数次, 筛选到的优势菌株利用甘油冷冻保藏法保存菌株^[13]。

挑取长势良好的菌株接种到 50 mL 装有 20 mL 无氮液体培养基的三角瓶中, 菌液含菌量为 2×10^6 cfu/mL, 30 °C、120 r/min 培养 3 d。以上每个步骤均设 3 个重复和 1 个空白对照。

1.6 固氮酶活性测定

固氮菌的活性测定主要采用乙炔还原法。取 5 mL 菌悬液盛在 10 mL 的血清小瓶中, 置于摇床上, 以 180 r/min 的转速在 28 °C 下振荡培养 48 h^[14]。

将血清小瓶盖在无菌条件下换成橡胶塞, 并用无菌注射器抽出 10% 的气体, 然后给每瓶注入 1 mL C_2H_2 , 使注入乙炔气体使终浓度为 10%, 继续培养 72 h, 对照为加入等量高纯乙炔 (使终浓度同样为 10%) 但未加菌液的血清小瓶。取 100 μ L 反应气体注入气相色谱仪 (Trace GC2000, Chrom-cord, Italy) 进样柱中, 计算 C_2H_2 、 C_2H_4 的峰面积^[15-16]。

从气相色谱仪显示屏的 C_2H_2 、 C_2H_4 峰值判断有无 C_2H_4 的产生并确定其固氮性能, 根据以下公式计算固氮酶活性的大小, 对固氮酶活性高的菌株进行筛选、保存。

乙炔还原活性 (ARA) 计算公式^[17-19]:

$$ARA = \frac{(\text{实际 } C_2H_4 \times \text{峰面积} \times \text{标准气含量} \times \text{注射瓶容积})}{(\text{标准气峰面积} \times \text{进样量} \times \text{培养时间} \times \text{样品量})}$$

用 5 mL 菌悬液加入 3 mL 0.5 mol/L 的 NaOH 煮沸 5 min, 加入 3 mL 0.5 mol/L 的 HCl, 离心取上清 1.0 mL 加入 5 mL 考马斯亮蓝, 混合、显色 3 min, 测定 595 nm 处吸光值 A_{595} 。根据牛血清白蛋白标准曲线计算菌体蛋白含量^[20-21]。

由固氮酶活性与菌体蛋白含量计算菌株菌体比活力 ($\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)^[22]:

$$\text{菌体比活力} = \frac{C_2H_4 (\text{nmol})}{\{\text{菌体蛋白量} (\text{mg}) \times \text{反应时间} (\text{h})\}}$$

1.7 自生固氮菌形态及生理生化特征测定

1.7.1 菌落形态特征分析

观察培养于富集培养基上各菌株在 28—30 °C、培养 24—48 h 后菌落的颜色、大小、形状、质地、生长速度等。

1.7.2 Biolog 微生物鉴定系统鉴定

本实验采用 Biolog 微生物鉴定系统进行初步鉴定, 其由浊读仪、读数仪、软件、数据库、微孔鉴定板组成, 与计算机联网。对结果的鉴定需要考虑可能性、相似性、位距 3 个参数; 通过 SIM、DIST 和 PROB 值与数据库中的 ID 比较, 确定被鉴定的微生物的属种^[23]。

首先按照表型鉴定常规方法^[24]对获得的菌株进行革兰氏染色、氧化酶实验以及三糖铁实验, 确定菌株类型。然后按照 Biolog 微生物的鉴定流程, 选择与菌株类型相对应类型的鉴定板以及培养条件。Biolog 鉴定方法: 将获得的菌株在牛肉膏蛋白胨固体培养基连续培养 3—4 代, 选择培养生长良好的单菌落, 转接到 BUG+B 固体培养基上, 于 30 °C 培养 24 h, 用无菌竹签挑取少量新鲜菌落, 将专用接种液制备为均一菌悬液, 与标准菌悬液进行浊度对比, 误差控制在 $\pm 2\%$ 。用八通道移液器将菌悬液接种到 Biolog GN 板, 每孔接种菌液 150 μ L。将接种好的鉴定板编号并置于 30 °C 培养, 在培养 4—6 h 和 16—24 h 时用读数仪读取菌株的特征性碳源代谢指纹特征, 结果与 Biolog 数据库的菌株进行比对分析, 确定分离菌株。

2 结果与分析

2.1 固氮菌的筛选及植被恢复模式的影响

利用瓦克斯曼 77 号培养基进行初步固氮菌筛选, 按照调查样地编号, 初步统计了不同植被恢复模式下样地不同深度土壤层中固氮菌的个数 (表 2)。

由表 2 可明显的反映出几个特点: ①总体上来讲 C 号样地比 A、F、G、H 号样地的固氮菌个数多, 即从铁尾矿堆阳坡 (南坡) 筛得的固氮菌菌株数比阴坡 (北坡) 的多; ②总体上 H 号样地比 F 号样地固氮菌个数多, 即种植年限长的植被固氮菌株数比年限短的多; ③总体上 B 号样地要比其它样地固氮菌个数多, 即使用六孔砖等措施的样地的菌株数要比没使用特殊改良措施的样地菌株数多。④总体上 D 号样

地要比其它样地固氮菌个数多,即混交林模式比其土壤层次中固氮菌更易于生长和繁殖。他纯林模式的固氮菌多。另外,在 10—40 cm 这个

表 2 9 个样地不同深度土壤层中固氮菌的个数/(10⁴个/g)
Table 2 The number of nitrogen-fixing bacteria from different depths of 9 sample plots

取样深度/cm Sample depth	样地编号 Plots number								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0—10	1.26	1.24	1.29	0.87	0.83	0.67	0.97	1.02	1.20
10—20	1.79	1.83	2.17	2.21	1.50	2.10	1.79	2.27	1.46
20—40	1.53	1.71	1.34	1.38	1.65	2.28	2.21	1.85	1.37
40—60	0.76	0.85	1.34	1.01	0.97	0.99	1.32	1.37	0.88

2.2 菌落形态特征分析

采用瓦克斯曼 77 号培养基筛选铁尾矿不同树种栽植模式下、不同土壤层次下的固氮菌,在 48 h 后即可观察到生长情况,大多数分离出的菌落呈透明、半透明状或乳白色、圆形、形状较小、边缘整齐、表面光滑、突起、少数为黄褐色。培养基上的部分菌株的菌落特征(图 1)。根据长势从中选取出 48 株生长状态较好的固氮菌,进一步进行固氮酶活性分析。

2.3 固氮菌固氮酶活性分析

根据菌落生长状态等生物学水平标准^[25-27],初步筛选出 48 株固氮菌,测定 ARA 值,结果(图 2)。



图 1 筛选培养基部分菌株的菌落特征
Fig.1 The colony character of some strains in selective medium

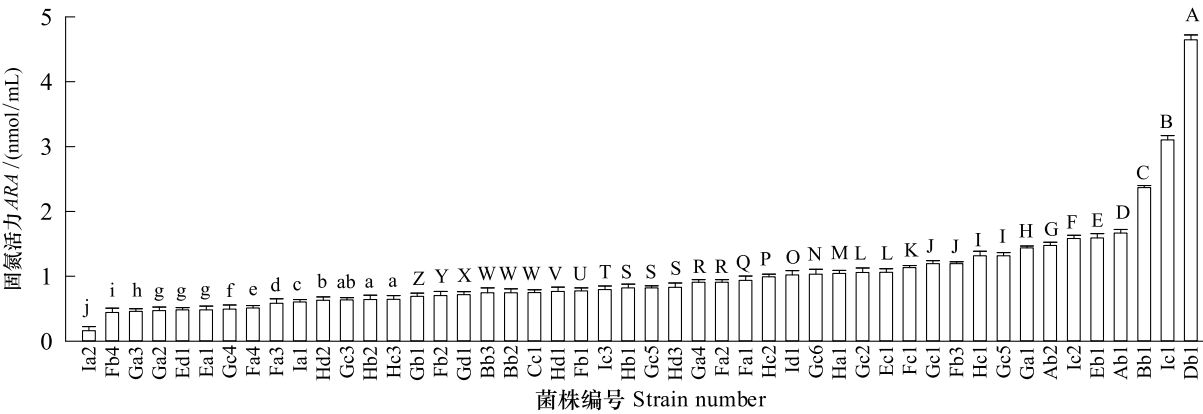


图 2 自生固氮菌固氮酶活性的测定
Fig.2 measurement of the activity of free-living nitrogen fixing bacteria
不同样地分别用 A 到 I 表示,土壤层 0—60cm 分别用 a 到 d 表示,同一样地相同层次的筛出的不同菌株用数字 1、2、3、4 区分;大写字母表示 $P<0.01$ 显著水平,小写字母表示 $P<0.05$ 显著水平,同列中标注相同字母的值之间差异不显著

筛选其中 ARA>0.9 的菌株,利用考马斯亮蓝法测定菌体蛋白含量(图 3)。菌体比活力(图 4)。根据图 4 可以看出其中的 45 株菌活力较低在 7.84—69.71 nmol·mg⁻¹·h⁻¹,说明这 45 株菌不具有固氮能力或固氮能力较低,只有 Id1,根据公式计算单位蛋白固氮酶活力,即固氮菌

Db1, Ec1 3 株菌不但菌体生长迅速且固氮酶活力较高,可以用于制成微生物菌剂进行铁尾矿土壤改良。

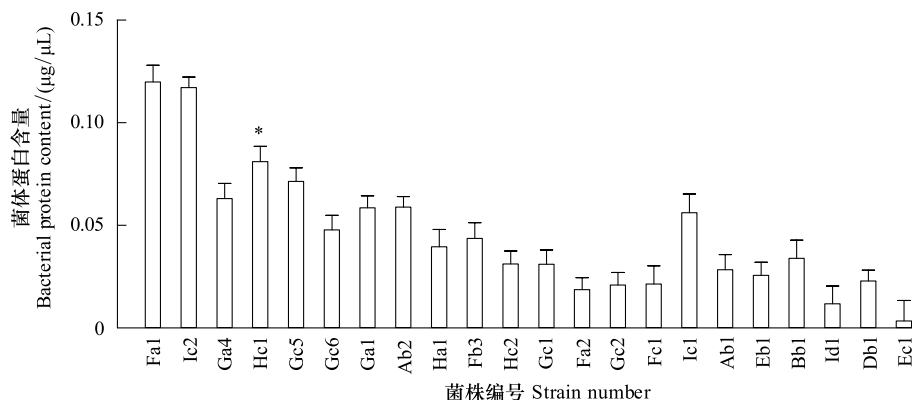


图3 固氮菌菌体蛋白含量的测定

Fig.3 measurement of the level of protein of free-living nitrogen fixing bacteria

相关性分析中 * 表示该菌株与其他任何菌株相比差异性都表现为极显著 $P < 0.01$

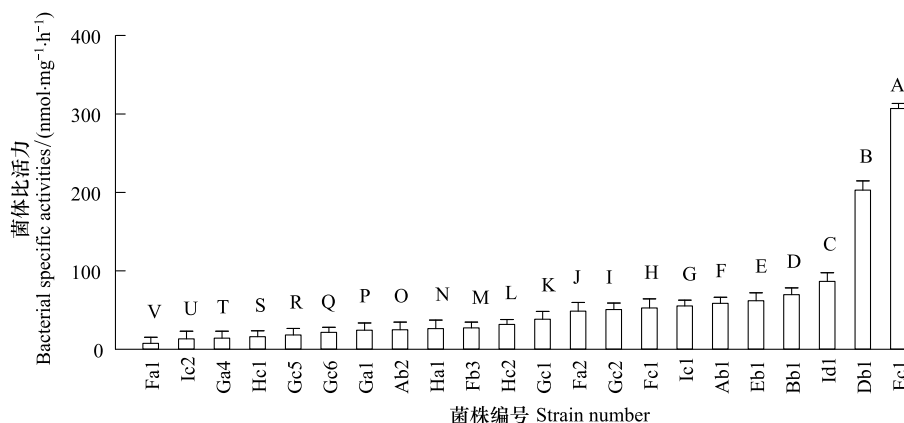


图4 单位蛋白固氮酶活力

Fig.4 Determination of nitrogenase activity unit of protein

相关性分析不同大写字母表示不同菌株间显著差异 $P < 0.05$

2.4 Biolog 微生物鉴定系统初步鉴定

将固氮酶活力高的 Ec1 在富集培养基上划线分纯得到的单菌落进行鉴定, Biolog 系统规定:细菌培养 4—6 h 其 SIM ≥ 0.75 , 培养 16—24 h SIM ≥ 0.5 , 系统自动给出鉴定结果为种名, 当 SIM 值小于 0.75 (4—6 h) 或 0.5 (16—24 h), 但鉴定结果中属名相同的结果的 SIM 值之和大于 0.75 或 0.5 时, 自动给出的鉴定结果为属名, 其它情况不给出结果, 只给出 10 个最接近的种名。本次测定的菌株 Ec1 革兰氏染色为阴性、氧化酶实验为阳性、三糖铁实验为上层底层均不产酸, 由于其 SIM 值小于 0.75, 初步鉴定出的菌属名为固氮菌属 (*Azotobacter*), 还需进一步利用 16S rRNA 基因进行准确鉴定。

3 结论与讨论

铁尾矿具有非常严酷的基质条件, 如物理性质不良 (极端的水湿条件和温度变化等)、贫瘠 (有机质、氮含量极低或无)、极端 pH 值 (过酸或过碱), 有些尾矿废弃地还含有高浓度的有害物质 (如重金属等)。研究表明固氮菌不仅具有固氮作用, 还具有溶磷作用^[28], 可以改善土壤成分, 为退化生境恢复提供物质基础, 植物根系的生长活动与微生物群落的发展具有相互促进作用^[29]。而通常的固氮菌很难在铁尾矿这样的环境中生长并发挥作用, 本研究是首次从已经初步显现良好修复效果的铁尾矿的不同植被中筛选高效土著固氮菌, 这样的微生物能在铁尾矿恶劣的条件下生存, 比一般的固氮菌更适应在

铁尾矿不良环境中生存,并且具有较高固氮活力,能为植物提供大量氮素。

蒋宝贵、赵斌^[30]从农场试验田筛选到的一株固氮活力为 $390 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 的固氮菌,房春红等^[31]从大豆根瘤中直接分离出的一株固氮活力为 $290 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 的固氮菌,吴若菁等^[32]从香椿根中分离出的一株固氮活力为 $127.26 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 的内生固氮菌,与此前的研究结果比照,本研究筛选出的两株固氮菌 Db1、Ec1 固氮活力分别为 $203.20 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $307.23 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,结合尾铁矿生境特征,Db1、Ec1 这两株菌的固氮活力已经是相当高的了,但固氮菌作为活性微生物,在不同环境下其固氮能力增殖能力等都有可能发生变化,因此还需制成菌剂进行进一步实验验证。

本研究还表明不同铁尾矿不同树种栽植模式下,固氮菌的菌落个数及固氮活力不同,这与不同树种对铁尾矿的改良作用是息息相关的。固氮菌 Ec1 是来源于 5 号样地(2009 年造地紫穗槐林),固氮菌 Db1 来源于 4 号样地(毛白杨、五角枫等构成的混交林),由此可以看出种植豆科植物或物种多样性较高的混交林地更适合微生物生存,植物为微生物繁殖提供良好的场所,微生物增加土壤肥力为植物生长提供营养,二者达成互利互惠的关系。结合在固氮菌的筛选过程中得到的特点,可以推断出:(1) 由于南坡是迎光面且降水多,温度和湿度都要比北坡适宜所以固氮菌菌株数多;(2) 由于种植年限越长,定居的植物越多,物种丰富度越高,对土壤的改良作用越好,越适宜微生物繁殖;(3) 由于特殊的改良措施更利于水土保持、消除对植物定居的限制、增加植被覆盖率,同样也为微生物的生长繁殖创造了良好的条件;(4) 由于混交林较之单纯林,林内光照减弱,温度低,湿度大,风速小,枯落物较多,根系深广,地上地下部分结构比单纯林复杂,在涵养水源、保持水土、防风固沙,以及其他防护效益方面都优于单纯林,为固氮微生物的生长提供良好的场所。

近年来我国可开采的铁矿石品位低、共伴生的泥矿多,铁尾矿已然成为我国排放量最大、综合利用率最低的固体废弃物。铁尾矿性质复杂,回收和利用难度大,由于这些特性已使其成为当前我国工业固体废物的主要组成部分,因此当务之急是要对铁尾矿废弃地进行植被恢复和生态重建。生物固氮与

直接施用化学氮肥相比,具有不污染生态环境、不耗费额外能源、生产成本低等特点,从铁尾矿中筛选到的土著固氮菌在铁尾矿生态系统的恢复中将具有巨大的应用前景,引入高效功能微生物可以改善退化生态区域的土壤,有助于科学有效地改良尾矿砂土壤微生态环境,为铁尾矿人工林的营造、促进矿区的良性改良和优化发展及增强提供指导。关于固氮菌在与植物结合后的具体促生作用及其实际的对植株的固氮贡献,有待进一步研究。

References:

- [1] Li Z D. The development and utilization of metal mine tailings in China. *Geology and Prospecting*, 1992, 28(7): 25-30.
- [2] Zhu S Y. Tailings comprehensive utilization is an important way to realize the sustainable development of mining industry in our country. *Tongling College of Finance and Economics Journals*, 2002, (1): 38-40.
- [3] Asma A, Jasmine I, Abdul M. Impact of long-term application of industrial wastewater on the emergence of resistance traits in *Azotobacter chroococcum* isolated from rhizospheric soil. *Bioresource Technology*, 2003, 86(1): 7-13.
- [4] Cavaglieri L R, Passone A, Etcheverry M G. Correlation between screening procedures to select root endophytes for biological control of *Fusarium verticillioides* in *Zea mays* L. *Biological Control*, 2004, 31(3): 259-267.
- [5] Wang Y, Shi J H, Li C G, Zhang L F, Li Y L. An analysis on improvement benefits of *Hippophae rhamnoides* and *Morus* L. mixed plantation to soil of iron tailings. *Science of Sericulture*, 2012, 38(4): 596-602.
- [6] Zhang K, Yao T, Zhang D G, Xin G R. Effects of associative nitrogen-fixing biofertilizer on growth of *Hordeum vulgare* in alpine region. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 708-713.
- [7] Zhang J E, Liu W G. Utilization of microbes resources and sustainable development of agriculture. *Soil and Environmental Sciences*, 2001, 10(2): 154-157.
- [8] Yang S L. *Processing Knowledge Question and Answer*. 2nd ed. Beijing: Metallurgy Industry Press, 2005: 1-10.
- [9] Wang Y C, Li Y L, Wang H, Guo J, Wang Y, Zhang L L, Yuan Y X. Effects of vegetation restoration pattern on microbial quantity and enzyme activity in iron tailings. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(10): 1826-1829.
- [10] Sun J G, Zhang Y C, Xu J, Hu H Y. Isolation and biological characteristic investigation on efficient nitrogen-fixing bacilli. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(6): 2043-2051.
- [11] Han Y Z, Zhao J J, Su Z, Huang Y, Hu C M, Chen X R. Studies on the quantitative characteristics of microbial

- physiological population in the rhizosphere soil of elephant grass. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37 (15): 7110-7112.
- [12] Jia X W, Yan W, Bai S L, Shao D H, Wang T N. Study on the best isolated condition filtration of rhizosphere soil microorganism. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2007, 22(6): 147-151.
- [13] Zhong Z H, Li Q X, Tang X Y, Qiu Y. Improvement of glycerin preserved strain method. Practical Preventive Medicine, 2005, 12 (3): 670-671.
- [14] Shang J H, Kang L H, Luo Y P, Jiang Y G, Ma H B. Study of medium optimization of *Acacia rhizobium* and nitrogenase activity. Biotechnology, 2005, 15(1): 71-74.
- [15] Lu B L, Wang W L, Li J, Guo T W. Nitrogen fixation ability of azotobacter and its effect on growth of spring wheat. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(5): 895-899.
- [16] Hurek T, Reinhold H B. *Azoarcus* sp. Strain B H72 as a model for nitrogen fixing grass endophytes. Biotechnol, 2003, 106 (2): 169-178.
- [17] Steenhoudt O, Vanderleyden J. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: Genetic, biochemical and ecological aspects. FEMS Microbiology Reviews, 2000, 24(4): 487-506.
- [18] Mirz M S, Rasul G, Mehnaz S. Beneficial effects of inoculated nitrogen-fixing bacteria on rice. Biology and Fertility of Soils, 2000, 31(3/4): 191-204.
- [19] Yang C F, Wang S J, Chen J, Xu X J. The isolation and identification of *Abiogenous azotobacter*. Journal of Huaihai Institute of Technology, 1999, 8(3): 56-58.
- [20] Ding Y, Wang J, Liu Y, Chen S. Isolation and identification of nitrogen-fixing bacilli from plant rhizospheres in Beijing region. Journal of Applied Microbiology, 2005, 99(12): 1271-1281.
- [21] Xu Q F, Huang X L, Chen T W. The isolation identification and determination of the nitrogen-fixing abilities of eight *Bacillus* Strains. Microbiology, 1998, 25(5): 253-258.
- [22] Zhang Y C, Sun J G, Xu J, Hu H Y. Isolation and identification and evaluation of nitrogen-fixing bacillus strain GD272. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(5): 1196-1201.
- [23] Dong X Z, Cai M Y. Common Bacteria Manual System Identification. Beijing: Science Press, 2001: 20-30.
- [24] Cheng C, Li J X, Yao L, Hu H R. Utilization of Biolog automated microbes identification system to identify *saccharomyces cerevisiae*. Liqur-Making Science and Technology, 2006, 7(5): 58-61.
- [25] Zhang X M. Ordos Sandy Soil Microbes and Enzyme Activity. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2007.
- [26] Boddey R M. Biological nitrogen fixation in sugarcane: a key to energetically viable biofuel production. Critical Reviews in Plant Sciences, 1995, 14(3): 263-279.
- [27] Xu C R, Zhang J G, Zhou J C. Screening of two high efficient rhizobia strains. Journal of Huazhong Agricultural University, 2004, 23(6): 635-638.
- [28] Kumar V, Behl R K, Narula N. Establishment of phosphate-solubilizing strains of *Azotobacter chroococcum* in the rhizosphere and their effect on wheat cultivars under green house conditions. Microbiological Research, 2001, 156(1): 87-93.
- [29] Xia B C. The impact of vegetation on soil microbial community structure. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9 (3): 296-300.
- [30] Jiang B G, Zhao B. Screening and identification of the Bacterium which have high efficiency on resolving phosphorus and potassium and in nitrogen fixation. Journal of Huazhong Agricultural, 2005, 24(1): 43-48.
- [31] Fang C H, Chen X S, Liu J, Xu X H. Relation between ureide content and nitrogenase activity in soybean. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(3): 9-12.
- [32] Wu R J, Chen F F, Wang Y Q, Lin Z D, Yang M. Isolation and characterization of endophytic diazotrophs in *Toona sinensis* roem. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2007, 23(4): 129-132.

参考文献:

- [1] 李章大. 我国金属矿山尾矿的开发利用. 地质与勘探, 1992, 28(7): 25-30.
- [2] 朱胜元. 尾矿综合利用是实现我国矿业可持续发展的重要途径. 铜陵财经专科学校学报, 2002, (1): 38-40.
- [5] 王岩, 石娟华, 李晨光, 张丽峰, 李玉灵. 沙棘-桑树人工混交林对铁尾矿土壤的改良效益分析. 蚕业科学, 2012, 38(4): 596-602.
- [6] 张堃, 姚拓, 张德罡, 辛国荣. 研究了高寒地区联合固氮菌肥对青稞的促生效应. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 708-713.
- [7] 章家恩, 刘文高. 微生物资源的开发利用与农业可持续发展. 土壤与环境, 2001, 10(2): 154-157.
- [8] 杨顺梁. 选矿知识问答 (第二版). 北京: 冶金工业出版社, 2005: 1-10.
- [9] 王艳超, 李玉灵, 王辉, 郭江, 王颖, 张丽丽, 袁玉欣. 不同植被恢复模式对铁尾矿微生物和酶活性的影响. 生态学杂志, 2008, 27(10): 1826-1829.
- [10] 孙建光, 张燕春, 徐晶, 胡海燕. 高效固氮芽孢杆菌筛选及其生物学特性. 中国农业科学, 2009, 42(6): 2043-2051.
- [11] 韩玉竹, 赵建军, 苏展, 黄勇, 胡陈明, 陈秀蓉. 象草根际土壤微生物生理群数量特征研究. 安徽农业科学, 2009, 37 (15): 7110-7112.
- [12] 贾学文, 闫伟, 白淑兰, 邵东华, 王铁牛. 根际土壤微生物最佳分离条件筛选研究. 华北农学报, 2007, 22(6): 147-151.
- [13] 钟志宏, 李启星, 唐小昇, 邱月. 甘油保存菌种方法的改良. 实用预防医学, 2005, 12(3): 670-671.
- [14] 尚军红, 康丽华, 罗玉萍, 江业根, 马海滨. 相思根瘤菌培养基优化及其固氮酶活性研究. 生物技术, 2005, 15(1): 71-74.

- [15] 卢秉林, 王文丽, 李娟, 郭天文. 自生固氮菌的固氮能力及其对春小麦生长发育的影响. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 895-899.
- [19] 杨从发, 王淑军, 陈静, 许兴友. 自生固氮菌的分离鉴定. 淮海工学院学报, 1999, 8(3): 56-58.
- [21] 许齐放, 黄秀梨, 陈廷伟. 八株芽孢杆菌菌株的分类及固氮活性的测定. 微生物学通报, 1998, 25(5): 253-258.
- [22] 张燕春, 孙建光, 徐晶, 胡海燕. 固氮芽孢杆菌 GD272 的筛选鉴定及其固氮性能研究. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 1196-1201.
- [23] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册. 北京: 科学出版社, 2001: 20-30.
- [24] 程池, 李金霞, 姚粟, 胡海蓉. Biolog 微生物自动鉴定系统在酿酒酵母鉴定中的应用. 酿酒科技, 2006, 7(5): 58-61.
- [25] 张晓美. 鄂尔多斯沙地土壤微生物和酶活性研究. 雅安: 四川农业大学, 2007.
- [27] 徐传瑞, 章建国, 周俊初. 大豆根瘤菌的分离与筛选. 华中农业大学学报, 2004, 23(6): 635-638.
- [29] 夏北成. 植被对土壤微生物群落结构的影响. 应用生态学报, 1998, 9(3): 296-300.
- [30] 蒋宝贵, 赵斌. 解磷解钾自生固氮菌的分离筛选及鉴定. 华中农业大学学报, 2005, 24(1): 43-48.
- [31] 房春红, 陈秀双, 刘杰, 许修宏. 大豆固氮酶活性与酰胺含量的关系. 东北农业大学学报: 自然科学版, 2008, 39(3): 9-12.
- [32] 吴若菁, 陈奋飞, 王逸群, 林子都, 杨敏. 香椿中内生固氮菌的分离筛选与鉴定. 福建师范大学学报, 2007, 23(4): 129-132.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.9 May ,2014(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on ecosystem complexity-stability relationships based on soil food web CHEN Yunfeng, TANG Zheng, LI Hui, et al (2173)
- The ecological restoration effort of degraded estuarine wetland in Northwest Yunnan Plateau, China FU Wenchao, TIAN Kun, XIAO Derong, et al (2187)
- The correlations among arable land, settlement and karst rocky desertification-cases study based on typical peak-cluster depression ... LI Yangbing, LUO Guangjie, BAI Xiaoyong, et al (2195)
- Correlation between the distribution characteristics of poisonous plants and *Ochotona curzoniae*, *Myospalax baileyi* in the East of Tibetan Plateau Alpine meadow ecosystem JIN Liang, SUN Li, CUI Huijun, et al (2208)
- Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations LI Jianlong, TANG Jingchi, LI Xiudi, et al (2216)

Autecology & Fundamentals

- Effect of soil-litter layer enzyme activities on litter decomposition in *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir Area GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (2228)
- Kinetics of nutrient uptake by three emergent plants, *Phragmites australis*, *Typha orientalis* and *Scirpus triquetra* ZHANG Xiling, WANG Lixin, LIU Huamin, et al (2238)
- Effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Pinus elliottii* plantation HU Qiwu, NIE Lanqin, ZHENG Yanming, et al (2246)
- Effects of shrub (*Caragana microphalla* Lam.) encroachment on water redistribution and utilization in the typical steppe of Inner Mongolia PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (2256)
- Effects of shadowing on methane Emissions from *Castanopsis carlesii* and *Cunninghamia lanceolata* CHEN Xixiang, YANG Yanhua, JIANG Jun, et al (2266)
- Oviposition preference and offspring performance of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* and guava fruit fly *B. correcta* (Diptera: Tephritidae) on six host fruits LIU Hui, HOU Bohua, ZHANG Can, et al (2274)
- Pollination Mechanisms of genus *Salvia* (Lamiaceae) in East Asia (China) HUANG Yanbo, WEI Yukun, GE Binjie, et al (2282)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of resource pulse supply on interspecific competition of a few algal species LI Wei (2290)
- Soil fertility quality assessment under different vegetation restoration patterns LI Jingpeng, XU Mingfeng, SU Zhiyao, et al (2297)
- Scale change and dependence of plant functional traits in hilly areas of the loess region, Shaanxi Province, China DING Man, WEN Zhongming, ZHENG Ying (2308)
- N and P stoichiometry of *Koeleria paniculata* leaf and soil in Xiangtan Manganese Mine wasteland XU Luyan, TIAN Dalun, WANG Guangjun, et al (2316)
- Evapotranspiration and factors influencing evapotranspiration in the spring wheat farmland of China's Loess Plateau YANG Fulin, ZHANG Qiang, WANG Wenyu, et al (2323)
- Isolation and Biolog identification of the high-efficiency azotobacter from iron tailing under different vegetation restoration modes LI Wen, YAN Aihua, HUANG Qiuxian, et al (2329)
- Assessing effects of *Cupressus chengiana* plantations in the dry valley of Zagunao River, Li county of Sichuan Province LI Dongsheng, LUO Da, SHI Zuomin, et al (2338)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape diversity of *Paerargyrops edita* Tanaka stock in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground CAI Jiandi, SU Guoqiang, MA Chao, et al (2347)
- Landscape classification in a small area for soil series survey and mapping: a case study in the Ningzhen hills, China LU Haodong, PAN Jianjun, FU Chuancheng, et al (2356)
- Impacts of climate change on winter wheat growing period and irrigation water requirements in the north china plain HU Wei, YAN Changrong, LI Yingchun, et al (2367)

Resource and Industrial Ecology

- Factor decomposition of carbon intensity in Xiamen City based on LMDI method LIU Yuan, LI Xiangyang, LIN Jianyi, et al (2378)
- Evaluation index system of sustainable livelihoods ecotourism strategy: a case study of wangjiazhai community in baiyangdian wetland nature reserve, Hebei WANG Jin, ZHANG Yujun, SHI Ling (2388)
- Relationships between stem sap flow rate of litchi trees and meteorological parameters FAN Chao, QIU Yanping, LI Zhiqiang, et al (2401)
- Evaluation on control efficiency of bethylid parasitoids on pest insects indoor: a case of *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethyridae) ZHAN Maokui, YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, et al (2411)

Urban, Rural and Social Ecology

- The dynamic change of herdsmen well-being and ecosystem services in grassland of Inner Mongolia: take Xilinguole League as example DAI Guangshuo, NA Risu, DONG Xiaobin, et al (2422)
- The construction of the eco-agricultural yards in three gorges reservoir area based on agricultural non-point source pollution zones LIU Juan, XIE Qian, Ni Jiupai, et al (2431)
- Spatial pattern gradient analysis of a transect in a hilly urban area in China from the perspective of transportation corridor sprawl LÜ Zhiqiang, DAI Fuqiang, ZHOU Qigang (2442)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 于贵瑞

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 9 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 9 (May, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元