

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 24 期 Vol.31 No.24 **2011**

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 31 卷 第 24 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

柑橘黄龙病株不同部位内生细菌群落结构的多样性·····	刘 波,郑雪芳,孙大光,等 (7325)
小兴安岭红松径向生长对未来气候变化的响应·····	尹 红,王 靖,刘洪滨,等 (7343)
污水地下渗透系统脱氮效果及动力学过程·····	李海波,李英华,孙铁珩,等 (7351)
基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划·····	肖 燚,陈圣宾,张 路,等 (7357)
羌塘地区草食性野生动物的生态服务价值评估——以藏羚羊为例·····	鲁春霞,刘 铭,冯 跃,等 (7370)
湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征·····	许倍慎,周 勇,徐 理,等 (7379)
滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响·····	李宁云,袁 华,田 昆,等 (7388)
基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例·····	宋晓龙,李晓文,张明祥,等 (7397)
青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力·····	韩道瑞,曹广民,郭小伟,等 (7408)
影响黄土高原地物光谱反射率的非均匀因子及反照率参数化研究·····	张 杰,张 强 (7418)
基于 GIS 的下辽河平原地下水生态敏感性评价·····	孙才志,杨 磊,胡冬玲 (7428)
厦门市土地利用变化下的生态敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (7441)
我国保护地生态旅游发展现状调查分析·····	钟林生,王 婧 (7450)
黄腹山鹧鸪稳定的配偶关系限制雄性欺骗者·····	褚福印,唐思贤,潘虎君,等 (7458)
食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响·····	朱俊霞,王 勇,张美文,等 (7464)
具有捕食正效应的捕食-食饵系统·····	祁 君,苏志勇 (7471)
桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究·····	张 琳,WANG Baode,许志春 (7479)
栗山天牛成虫羽化与温湿度的关系·····	杨忠岐,王小艺,王 宝,等 (7486)
人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响·····	李 乐,万冬梅,刘 鹤,等 (7492)
鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究·····	宋 伦,杨国军,李 爱,等 (7500)
锡林郭勒草原区气温的时空变化特征·····	王海梅,李政海,乌 兰,等 (7511)
UV-B 辐射胁迫对杨桐幼苗生长及光合生理的影响·····	兰春剑,江 洪,黄梅玲,等 (7516)
小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理·····	赵风华,王秋凤,王建林,等 (7526)
利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较·····	巩国丽,陈 辉,段德玉 (7533)
2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响·····	雍石泉,仝 川,庄晨辉,等 (7542)
人参皂苷与生态因子的相关性·····	谢彩香,索风梅,贾光林,等 (7551)
苈对黑麦草根系几种低分子量有机分泌物的影响·····	谢晓梅,廖 敏,杨 静 (7564)
盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定·····	张丽珍,樊晶晶,牛 伟,等 (7571)
不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响·····	安 娟,郑粉莉,李桂芳,等 (7579)
煤电生产系统的能值分析及新指标体系的构建·····	楼 波,徐 毅,林振冠 (7591)
专论与综述	
东南亚高山森林植被变化对流域产水量的影响·····	张远东,刘世荣,顾峰雪 (7601)
干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展·····	胡广录,赵文智,王 岗 (7609)
利用农业生物多样性持续控制有害生物·····	高 东,何霞红,朱书生 (7617)
研究简报	
洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征·····	刘 刚,沈守云,闫文德,等 (7625)
氯氰菊酯和溴氰菊酯对萼花臂尾轮虫生殖的影响·····	黄 林,刘昌利,韦传宝,等 (7632)
学术信息与动态	
SCOPE-ZHONGYU 环境论坛(2011)暨环境科学与可持续发展国际会议成功举办·····	(7639)
《生态学报》3 篇文章入选 2010 年中国百篇最具影响国内学术论文 等·····	(I)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2011-12	



封面图说: 泥炭藓大多生长在多水、寒冷和贫营养的生境,同时有少数的草本、矮小灌木也生长在其中,但优势植物仍然是泥炭藓属植物。泥炭藓植物植株死后逐渐堆积形成泥炭。经过若干年的生长演变,形成了大片的泥炭藓沼泽。这种沼泽地有黑黑的泥炭,绿绿的草甸和亮晶晶的斑块状水面相间相衬,远远看去就像大地铺上了锦绣地毯一样美丽壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

张丽珍,樊晶晶,牛伟,李涛,吴荣海,金益杰,鹿茸. 盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定. 生态学报, 2011, 31 (24): 7571-7578.

Zhang L Z, Fan J J, Niu W, Li T, Wu R H, Jing Y J, Lu R. Isolation of phosphate solubilizing fungus (*Aspergillus niger*) from *Caragana* rhizosphere and its potential for phosphate solubilization. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (24): 7571-7578.

盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定 及解磷能力测定

张丽珍^{1,*}, 樊晶晶², 牛 伟³, 李 涛¹, 吴荣海¹, 金益杰¹, 鹿 茸¹

(1. 山西大学生命科学学院, 太原 030006; 2. 山西大学生物技术研究所, 太原 030006; 3. 山西省农业科学院, 太原 030006)

摘要:在盐碱滩地的改良过程中,柠条具有提升土壤供氮、供磷、供钾的潜力。以盐碱滩地上建植的柠条灌木林为研究对象,以柠条根围土壤为培养基质,采用无机磷培养基筛选,用平板溶菌圈法分离获得 1 株具有溶磷能力的真菌。将测得的 ITS 基因序列在 NCBI 上进行同源性检索,结果表明,所测序列与黑曲霉(*Aspergillus niger*)同源性为 100%。综合形态特征和 ITS 基因序列同源性两方面分析,该菌株鉴定为黑曲霉(*Aspergillus niger*)。168h 连续监测无机磷培养液 pH 值、速效磷含量、菌丝重量和菌体吸磷量,研究该菌株的解磷能力。研究结果表明:随着培养时间的延长,培养液 pH 值从 7.0 下降到 2.0 左右,溶液中速效磷含量逐渐增加到 4.7 mg,菌体自身吸磷量由 5.4 mg 下降到 0.5mg,在 36—48h 后各项指标达到稳定状态。可见,黑曲霉菌体可以有效利用难溶性磷源,并将其转化成可被植物吸收利用的有效磷。

关键词:柠条根围土壤;解磷真菌;黑曲霉;解磷能力

Isolation of phosphate solubilizing fungus (*Aspergillus niger*) from *Caragana* rhizosphere and its potential for phosphate solubilization

ZHANG Lizhen^{1,*}, FAN Jingjing², NIU Wei³, LI Tao¹, WU Ronghai¹, JING Yijie¹, LU Rong¹

1 College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

2 Institute of Biotechnology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

3 Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030006, China

Abstract: Most phosphorus exists in saline-alkaline soils in the form of insoluble phosphates and the content of available phosphorus is low. Chemical phosphorus fertilizer is often applied in farming to meet the nutritious requirement of crop growing. However, saline-alkaline soils are rich in inorganic salts and poor in organic matter, and are prone to crusting, making application of inorganic fertilizer unsuitable. Phosphate-solubilizing microbes are a class of microrganisms that transform the insoluble phosphates into available phosphorus, who provide a measure for improvement of soil nutritious properties. *Caragana* Fabr. are shrubs cultivated to improve saline-alkaline soils, which enhance the availability of nitrogen, potassium and phosphorus in soil.

In our study, the soil sample from rhizospheres of *Caragana* plants grown on saline-alkaline wasteland was collected and used for culture to screen the phosphate solubilizing fungus and investigate its phosphate solubilizing proprties. The tricalcium phosphate agar medium was used. The colonies with clear halos were considered to be phosphate solubilizing fungus in the screening. One strain of fungus with phosphate-solubilizing ability was isolated in the current paper. The ITS sequence of the strain determined by PCR was of 100% homology with that of *Aspergillus niger* when compared with the

基金项目:国家自然科学基金项目(31070555);山西省农业科技攻关项目(20100311001-7)

收稿日期:2011-06-17; **修订日期:**2011-10-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lizhen@sxu.edu.cn

known sequence in NCBI database using pairwise BLAST. The isolated strain was identified as *Aspergillus niger* on the basis of morphological characteristics and ITS genetic sequence analyses. To study the phosphate-solubilizing ability of the strain, the pH value and available phosphorus content of inorganic phosphorus culture medium, the weight of mycelium and the absorbed amount of phosphorous by the fungus were measured during a culture period of 168 hours. The pH value dropped sharply from 7.0 to 2.0 within the first 36 hours of culture, and then generally leveled off during the rest of the culture. This process provides an acidic condition for the solubilizing of insoluble phosphates and is probably one of the main reasons for the changes in the rhizosphere of *Caragana* plants. At the same time, the available phosphorus content in culture increased to 4.7mg at the 36th hour of culture and remained at this level for another 96 hours, then underwent a slight increase in the last 24 hours of culture. This indicates a high phosphate solubilizing ability of the strain. The weight of mycelium reached its peak (0.32g) at the 60th hour of culture and stayed at around 0.20g for 60 hours before reached a second peak (0.27g) at 144th hour and then decrease to 0.20g at the end of culture. On the other hand, the absorbed amount of phosphorous by the fungus decreased dramatically from 5.4 mg dropped to 0.5mg during the first 48 hours of culture, then stayed leveled off until the end of culture, indicating that the absorbance and the release of phosphorous later on by *Aspergillus niger* may be one of the mechanisms for the transformation of insoluble phosphates into available phosphorus by the fungus. These data evidence that *Aspergillus niger* isolated from the rhizosphere of *Caragana* plants is able to utilize the insoluble phosphates in soil and transform it into available phosphorus for the plants, thus help with the remediation of soil biology, growth of plants and improvement of soils. The results also provided scientific evidence for the improvement of saline-alkaline soil environment by *Caragana* plants and the development of biological fertilizer made from *Aspergillus niger*.

Key Words: *Caragana* rhizosphere soil; phosphate solubilizing fungus; *Aspergillus niger*; phosphate solubilization

盐碱土壤的一个特点是可溶性有效磷含量低,绝大部分以难溶性磷酸盐形式存在。为满足植物生长所需,农业生产过程中往往施用化学磷肥,但盐碱土壤一般无机盐丰富,有机质严重缺乏,土壤板结,不宜施无机肥。Asea 等研究表明,在缺磷钙质土壤中接种解磷青霉菌(*Penicillium bilaji*)可使小麦吸收的总磷增加14%^[1]。范丙全等^[2]的盆栽实验表明,在石灰性土壤中接种溶磷青霉菌 P8 可以提高作物吸磷量。充分利用这类能够将难溶性磷酸盐转化为植物易吸收的可溶性磷的解磷微生物,可以为改良盐碱土壤营养状况提供一条出路。这类解磷微生物除了可以活化土壤中难溶性的磷外,还可以通过影响植物根系分泌物的种类和数量,以增加植物根系对周围 K, Ca, Mg, Fe, Zn 等营养元素的吸收,使植物能够适应盐碱缺磷的环境。

我国土壤普遍缺磷,耕地全磷的磷含量一般为 0.02%—0.11%,且土壤有效磷仅占土壤全磷含量的 2%—3%。长期以来,利用微生物溶磷提高土壤中难溶性磷的有效性和磷肥利用率一直受到研究人员的重视,不同的菌其溶磷能力也有很大差异^[3-4]。其中磷与真菌的关系,已引起人们越来越多的注意。在低磷条件下,一些真菌可以分解磷,而在高磷条件下,一些真菌又会被磷抑制。因此深入探讨磷与真菌的关系,对全面理解土壤微生物地球化学过程,将有重要意义。柠条是锦鸡儿属(*Caragana* Fabr.)植物栽培种的通称,为豆科灌木类植物^[5],它是中国西北、华北、东北西部水土保持和固沙造林的重要树种之一。研究表明,柠条林地不仅具有显著的水土保持功能,而且能够明显改善土壤肥力^[6];在盐碱滩地的改良过程中,柠条具有提升土壤供氮、供磷、供钾的潜力^[7]。本文以盐碱滩地上建植的柠条灌木林为研究对象,从其根围土壤中分离筛选具有解磷能力的真菌,对其进行 ITS 序列分析,确定其分类学地位,测定菌体吸磷量,研究其解磷能力,为北方盐碱土壤改良提供参考依据和菌种资源。

1 材料和方法

1.1.1 材料

土壤取自山西大同盆地的毛皂试验站柠条根围土壤。

(1) PDA 培养基组分 马铃薯 200g、琼脂 20g、葡萄糖 20g、蒸馏水 1000mL。

(2) 机磷培养基组分 葡萄糖 10g, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.3g, NaCl 0.3 g, KCl 0.3g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.03 g, $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.03 g, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 5 g, 蒸馏水 1000 mL, pH7.0—7.5, 121 °C 灭菌 30 min, 固体培养基中加入 15—20g/L 琼脂。

1.1.2 主要仪器和试剂

(1) 主要仪器 OLYMPUS 显微镜; YXQ-LS-5035BI 压力蒸汽灭菌锅(上海博讯实验有限公司医疗设备厂); SW-CJ-1FD 系列洁净工作台(上海博讯实验有限公司医疗设备厂); HH. BII. 600 恒温培养箱(上海跃进医疗器械厂); BS-B 恒温振荡器(国华电器有限公司); DYY-8C 型电泳仪(北京市六一仪器厂); TGL-16C-台式高速离心机(上海安亭科学仪器厂); HH-2A 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); 微波炉; TC-25/H 基因扩增仪(杭州博日科技有限公司); Eppendorf 凝胶成像系统; 752PC 紫外可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司); 3-Star 酸度计(美国奥利龙)。

(2) 主要试剂 琼脂粉(索莱宝公司); 胰蛋白胨(英国进口); 酵母粉(英国进口); 真菌基因组提取试剂盒(宝生物工程有限公司); 胶回收试剂盒(TaKaRa); 琼脂糖(西班牙原装); EDTA(索莱宝公司); Tris(索莱宝公司); 溴芬蓝; Tris-饱和酚(Solarbio); DNA Marker DL2000(TaKaRa); 磷溶液标准物质(中国计量研究院) pGEM-T Easy 载体(Promega); 其他药品均为国产分析纯。

1.2 方法

1.2.1 解磷菌的筛选和分离

称取 5g 小叶锦鸡儿根围土壤于 45mL 无菌水中, 漩涡震荡使溶液充分混匀后系列稀释至 10^{-7} g/mL, 将最后 3 个浓度的溶液涂布于无机磷固体培养基上, 置于 28°C 培养箱培养 5d, 选择一株透明圈最大的菌株进行分离纯化, 转接至斜面保存。

1.2.2 ITS 序列测定

(1) 菌株培养和基因组 DNA 的提取

将保藏的菌株于 PDA 平板上进行活化后, 于无机磷固体培养基上培养 5—7d, 用灭菌的接菌针将菌丝体刮入已灭菌的研钵中, 用液氮研磨成细粉后, 按照试剂盒操作步骤提取基因组 DNA, -20°C 保存备用。

(2) PCR 扩增核糖体 rDNA 的 ITS 区和产物的纯化

以所提基因组 DNA 为模板进行 PCR 扩增, 用真菌 ITS 序列通用引物 ITS4(5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') 和 ITS5(5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3')。PCR 反应体系(50 μ L): 4 μ L dNTP, ITS5 1 μ L, ITS4 1 μ L, Taq 酶 1 μ L, Buffer 5 μ L, 模板 5 μ L, ddH₂O 33 μ L。PCR 扩增条件为 95°C 预变性 5min; 94°C 下变性 30s; 58°C 退火 30s; 72°C 延伸 1min; 循环 35 次; 最后 72°C 下延伸 10min。PCR 产物的纯化按照 TAKARA 琼脂糖凝胶 DNA 回收试剂盒的方法进行。

(3) PCR 产物的克隆、鉴定及测序

连接反应 将纯化后的 PCR 产物与 pGEM-T Easy 载体连接。

连接反应体系(10 μ L) 2 $\times$ ligation Buffer 5 μ L, 载体 1 μ L, PCR 产物 3 μ L, T4 DNA 连接酶 1 μ L。将每个转化培养基 200 μ L 涂到两个 LB/氨苄/IPTG/X-Gal 平板上, 平板于 37°C 过夜培养, 得到蓝白斑克隆文库, 挑选其中的白斑接于含氨苄的 LB 液体培养基过夜, 依据碱裂解法^[8]提取质粒 DNA。

得到的产物进行琼脂糖电泳检测, 判断目的片段是否连接至载体。目的片段的序列测定由 TaKaRa 公司进行。

(4) 菌株的 ITS 基因序列分析

将菌株的 ITS 基因序列校对后, 在 NCBI 的 GenBank 中与已知序列进行 BLAST 比较, 并用序列同源性分析, 来确定该菌株的分类地位。

1.2.3 解磷能力的测定

(1) 磷标准曲线的绘制

将磷溶液标准物质(1000mg/L)稀释后制成磷标准溶液(100 mg/L),分别吸取0、1、2、3、4、5、6、8 mL,于容量瓶中,加蒸馏水至约30 mL,加入钼锑抗显色剂,定容至50mL。既得0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.8 mg/L 标准系列溶液,利用钼锑抗比色法^[9]测定吸光度,绘制标准曲线。

(2) 菌株解磷能力的测定

菌悬液制备 将 PDA 培养基上培养 48 h 的菌刮入无菌水中,于漩涡混合器中混合,制备成菌悬液,菌数约为 1×10^7 CFU/mL。

菌株溶磷能力测定 在 150mL 的三角瓶中装入 50mL 已灭菌的无机磷培养基,分别接种 1mL 菌悬液,对照接 1 mL 无菌水,每个处理重复 3 次,在 28℃、160 r/min 恒温摇床上振荡培养 7d。每隔 12 h 取样用 pH 计测定培养液 pH 值;同时取培养液在 4500r/min 转速下离心 15min,取上清液用钼锑抗比色法测定吸光值,根据标线计算出培养液中水溶磷含量;将过滤得到对应时间形成的菌丝体,于 80℃ 烘箱烘干 8 h,干重法测得菌丝体重量。

菌体吸磷量测定 将上述得到的菌丝体,在 121℃ 下灭活 40 min,加入适量的浓 H_2SO_4 消煮至棕红色后,加入 30% 的 H_2O_2 继续消煮至溶液清亮,定容后用钼锑抗比色法测定吸光值,根据标准曲线计算出菌体中的磷含量。

2 结果与分析

2.1 菌株的分离

在无机磷固体培养基上分离获得的菌株为黑色丝状,其可将培养基中的白色不溶沉淀溶解成透明圈,初步判定该菌株具有良好的解磷效果。

2.2 菌株的 ITS 序列测定

提取该菌株基因组 DNA,将提取的基因组 DNA 进行 PCR 扩增,1.0% 琼脂糖凝胶电泳检测,得到明亮的条带(图 1)。切胶回收目的 DNA 片段。目的片段由 TaKaRa 生物公司进行 ITS 序列测定,得到长度为 631bp 的序列。

2.3 菌株的分类地位

菌落在 PDA 培养基上生长较快,正面为碳黑色,背面无色。基生菌丝,着生丰富密集的孢子,呈黑色。分生孢子球形,分生孢子梗在足细胞上垂直生出。初步鉴定为黑曲霉。

将测得的 ITS 基因序列在 NCBI 上进行同源性检索,结果表明,所测序列与黑曲霉(*Aspergillus niger*)同源性为 100%。综合形态特征和 ITS 基因序列同源性两方面分析,该菌株鉴定为黑曲霉(*Aspergillus niger*)。

2.4 菌株对难溶性无机磷酸盐的溶解能力

2.4.1 磷标准曲线的绘制

如图 2 所示,绘制的磷标准曲线的相关系数 $R^2 = 0.99$,可以根据吸光度值来测定磷含量。

2.4.2 解磷能力的测定

取对应时间上清测定其 pH 值,从图 3 可以看出,随着培养时间的不断延长,溶液 pH 值不断下降,从 7.0 逐渐下降到 2.0 左右。在 0—36h 内 pH 值下降较快,这个阶段黑曲霉菌体代谢速率高,在生长阶段不断释放小分子有机酸,通过改变溶液的酸碱度来溶解不溶性磷酸盐。36h 后溶液 pH 值变化趋缓,48h 后逐渐趋于稳定状态。黑曲霉引发环境 pH 值的变化是引起柠条根围土壤微环境变化的原因,使其根围周围形成一个局部

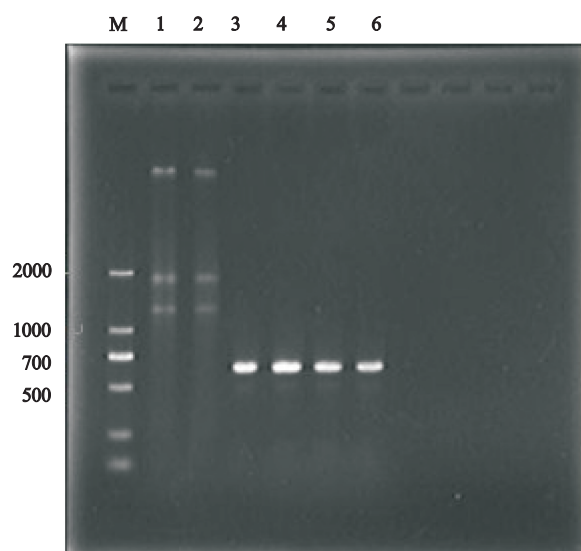


图 1 基因组 DNA 和 ITS 基因序列 PCR 扩增产物

Fig. 1 The result of Genomic DNA ITS PCR amplification

M: DNA Marker; 1 和 2: 基因组 DNA; 1 and 2: Genomic DNA; 3、4、5 和 6: PCR 结果; 3、4、5 and 6: Result of PCR

的低 pH 值区域,为不溶性磷酸盐的溶解创造条件。

图 4 显示了在培养 168h 下各个时间段内菌体的重量,菌体生物量的累积会增加黑曲霉菌向培养介质分泌酸性物质或质子的数量。由图可以看出,随着时间增长菌体重量增加,60h 达到最大值 0.32g,在随后的时间里,菌体重量维持在稳定的重量范围内。

菌株不同时期培养液溶磷量的变化见图 5。在培养的 168h 内,每 12h 进行取样,测定吸光度计算溶液中的速效磷含量,从图 5 可知,溶液中的速效磷含量随着培养时间的延长,速效磷含量在不断增长。在培养 0—36 h 之间速效磷含量变化比较明显,到 36 h 后速效磷含量基本达到稳定值 4.7mg/L 左右,该菌株具有较高的解磷能力。

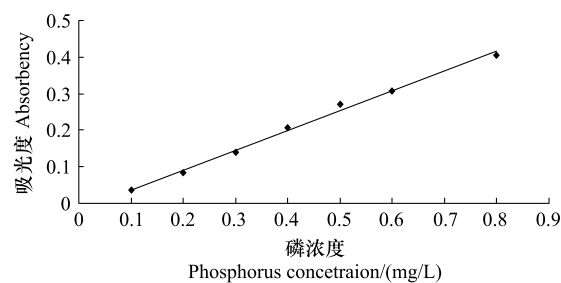


图 2 标准曲线

Fig. 2 Standard curve of Phosorus

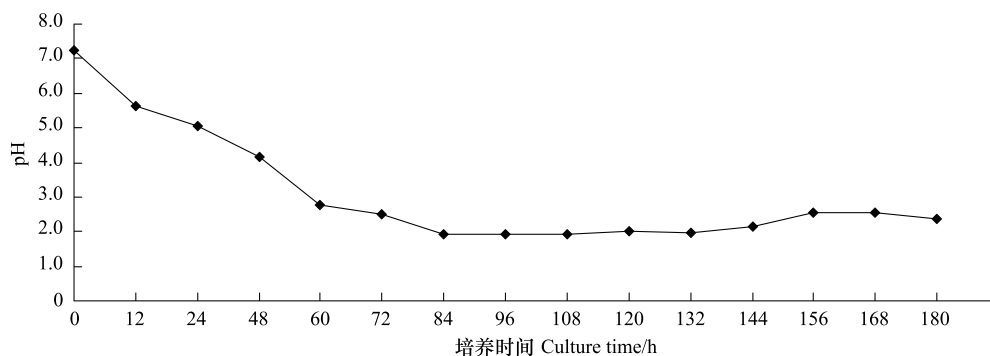


图 3 菌株在不同时期培养液 pH 值的变化

Fig. 3 Variation of pH during culture period

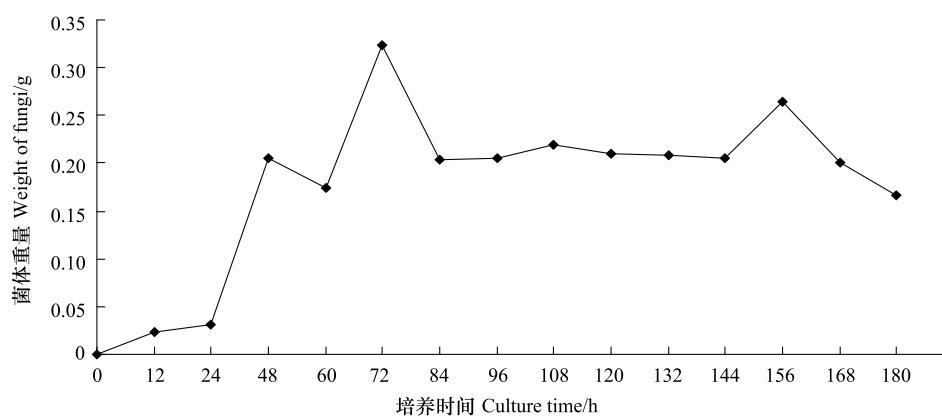


图 4 菌株在不同时期菌体重量的变化

Fig. 4 Variation of fungi weight during culture period

菌体不同时期吸磷量变化见图 6。从图中可以看出,菌体吸磷量随着时间的延长而下降,36h 后菌体吸磷量骤然下降,且在此后的时间内都保持较稳定的含量。由于磷是黑曲霉的基本营养元素之一,在培养初期菌体需要吸收环境中的难溶性磷元素来参与能量代谢和有机化合物的磷酸化激活作用,因此在黑曲霉菌丝和孢子中吸收并蓄积了大量的各种形态的磷。最终这部分磷会通过菌体细胞溶融而释放到环境中,成为植物生长可以吸收利用磷源。黑曲霉菌体可以有效利用土壤中的难溶性磷源,并将其转化成可被地上植物利用的有效磷。

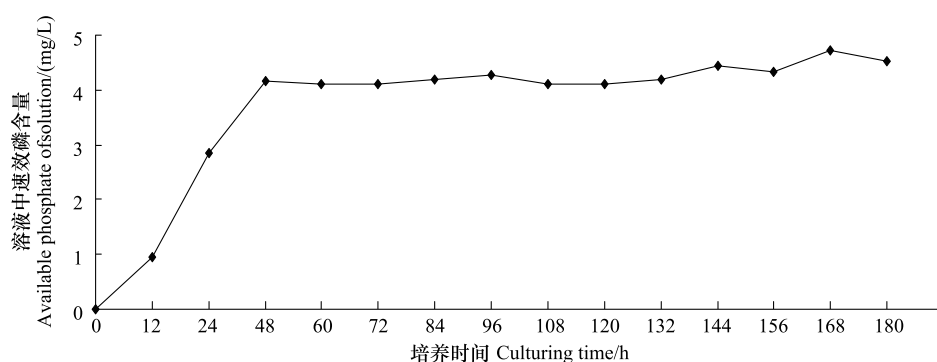


图5 菌株在不同时期培养液溶磷量的变化

Fig. 5 Variation of phosphate solubilization capacity during culture period

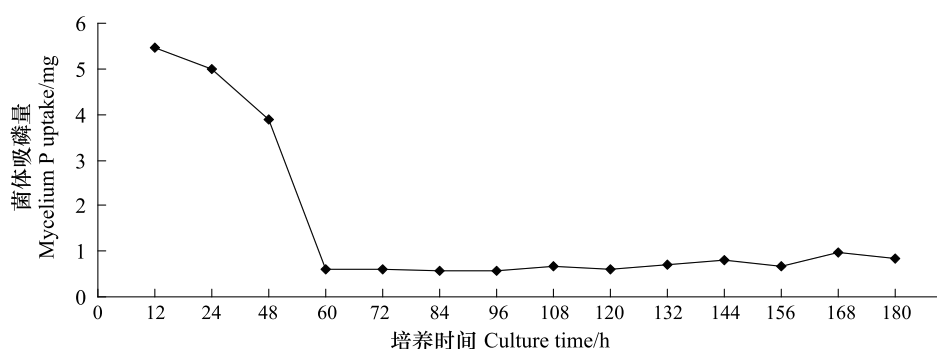


图6 菌株在不同时期菌体吸磷量的变化

Fig. 6 Variation of mycelium P uptake during culture period

3 讨论

土壤中解磷菌分布广泛,目前已报道的具有解磷能力的微生物包括细菌、真菌、放线菌、丛枝菌根真菌等。对难溶磷的转化效果受环境因素影响,不同种类解磷微生物的生态适应性有很大差异。林启美^[10]等发现农田、林地、草地、菜地四种生态系统中解磷细菌的种群结构及解磷能力有很大差异。赵小蓉^[11]等发现对于玉米作物根际与非根际土壤中解磷细菌的分布特点是不同的。韩烁^[12]等人研究发现毛竹根部解磷细菌存在着较为丰富的种群多样性。因此需要从栖息地的生态特征出发分离、筛选、了解解磷微生物的解磷特性。大同盆地土壤严重盐碱化,盐含量高达0.75g/kg, pH 高达10.0以上,在这种极端环境下土壤板结,有效磷含量在1.0mg/kg左右。以柠条灌木林地为研究对象,从其根围分离获得的室内解磷效果可达4.7mg/L的解磷黑曲霉菌将有助于提高盐碱化土壤有效磷含量,实现该地区土壤生物修复,促进改良植物生长,实现盐碱化土壤治理。

解磷真菌在数量上远不如解磷细菌多,其种类也少,目前研究报道的解磷真菌中曲霉属和青霉属较多。尹瑞龄^[13]从旱地土壤中分离出265株细菌,它们的溶磷范围在2—30 mg/g之间。Paul等^[14]从豆科植物根际分离出12株溶磷细菌,其中1株短芽孢杆菌(*B. brevis*)溶解 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 的效率可达18.53%。范丙全等^[15]筛选得到2株具有溶磷作用的草酸青霉菌(*Penicillium oxalicum* Currie & Thom) P8、Pn1, 10d后50mL液体培养基中的水溶磷分别为9.71 mg和6.82 mg。黑曲霉是另一种解磷效果较好的菌株,目前对黑曲霉溶解矿物磷酸盐的研究报道比较多。Vassilev^[16]研究了黑曲霉对矿物磷酸盐的溶解能力可高达292 $\mu\text{g} / \text{mL}$ 。Illmer^[17]等报道了黑曲霉等4种真菌可以有效地溶解难溶性磷酸铝。王富民等从土壤中筛选出黑曲霉AP22能使土壤速效磷含量增加141.94%,达到30 mg/kg,尤其是AP22在pH为8的碱性条件下也能表现出很好的解磷作用^[18]。黑曲霉在碱性条件具备的解磷能力使其可能在退化土壤生态系统中的修复中发挥作用,本研究从耐

盐碱植物根围土壤中分离获得的解磷黑曲霉对寻找发现可在盐碱土壤中有效定殖的菌株,改善磷循环有实际的意义。

研究表明微生物的解磷能力由其产生和释放有机酸等代谢产物的生化能力决定,通过它们的羟基羧基,螯合阳离子(主要是钙离子),使难溶性的磷酸盐转化为可利用的有效磷。在环境修复和农业土壤改良中,制备固态发酵菌剂是一种高效可行的微生物菌剂,因为其发酵效率高,发酵产物稳定,发酵过程对养分的需求低,劳动成本低,技术简单,发酵产物不需要进一步精制^[19]。虽然真菌和细菌都可以用于固态发酵,由于真菌的生长方式及对低水活性的高耐受性^[20],真菌是公认的适合固态发酵的微生物菌种。尽管目前报道的解磷真菌的种类及数量远不如解磷细菌多,由于解磷真菌在固态发酵解磷中占优势,解磷真菌的实际应用范围更广,筛选解磷真菌,生产含有解磷功能的微生物有机肥料为解决植物磷素供应问题是一条很好的途径。Ghani等^[21]用微生物来改善磷矿粉的溶解性,制成生物酸化磷矿粉并得到应用。2001年 Vessey 和 Heisinger^[22]的研究表明 *P. bilaii* 仅在缺磷土壤中表现出强大的解磷能力,该菌制成的菌剂已在加拿大商品化生产。国内范丙全等^[23]采用³²P示踪技术,研究了溶磷青霉菌 P8 对肥料磷与土壤有效磷的转化、固定和有效性的影响。固态发酵过程中,解磷真菌不仅可以溶解无机磷酸盐,矿化有机质,同时具有分泌柠檬酸^[24],草酸^[25],肌醇六磷酸酶^[26],锰过氧化物酶,几丁质酶,吡啶-3-醋酸,铁载体^[27]等活性物质。对沙壤土^[28]、沙化土壤^[29-30]、重金属污染土壤^[31]、退化土壤^[32]、酸性尾矿山^[33]的研究结果表明解磷微生物可以促进土壤团聚体稳定性、增加土壤酶活性、改变土壤微生物群落结构。解磷真菌在溶解磷的同时往往具有促进植物的生长发育的功效。随着土壤酶活性的增加,对植物的养分供应随之增加,植物群落结构随之发生变化,反过来对土壤肥力又会产生积极作用。

越来越多的证据表明,在自然条件恶劣的环境中,传统物理化学技术难以发挥作用的情况下,解磷微生物在改良土壤和推进植被群落结构演替中可发挥独特的作用。本研究从柠条根围土壤中分离纯化出的黑曲霉,室内解磷效果可达 4.7mg/L,它可以不断地利用难溶性磷源,将其作为自身生长所需要的元素,同时释放出可以被植物吸收利用的有效磷。黑曲霉本身具有很强的适应和繁殖能力,随着其生物量的不断累积而增加对土壤中难溶性磷源的利用,不断释放可溶性磷源逐渐改变盐碱地中有效磷含量,最终达到肥沃土地的效果。盐碱滩地定植柠条后,林下植被群落组成及结构发生变化,阳离子含量降低,为解磷微生物提供有利的生长环境使土壤中有效磷含量增加。进一步说明柠条不仅具有水土保持的功效,同时还可以改善土壤生态环境,促进植物-微生物-土壤间的养分循环,对于盐碱地的恢复有很大的帮助。因此,本研究结果对于柠条可改善盐碱生态环境进一步提供了理论依据,对开发该菌株为生物肥料具有实际参考价值。以后的研究应通过培养和非培养相结合的方法来关注长期定位实验解磷菌的定殖效果以及与土壤土著微生物群落的相互作用。

References:

- [1] Asea P E A, Kucey R M N, Stewart J W B. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1988, 20(4): 459-464.
- [2] Fan B Q, Jin J Y, Ge C. Effect of phosphate-dissolving fungi on growth and phosphorus uptake of crops. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2004, 10(6): 620-624.
- [3] Wan L, Kang L H, Liao B W, Ma H B, Jiang Y G. Mangrove PSB: isolation, culture and phosphate-dissolving ability. *Forest Research*, 2004, 17(1): 89-94.
- [4] Ge J P, Cai B Y, Song G, Sun Z X, Ping W X. Isolation of functional fungi and their dissolving-phosphorus abilities. *Soil and Fertilizer Science in China*, 2009, (6): 84-86.
- [5] Niu X W. *Caragana Research*. Beijing: Science Press, 2003.
- [6] An S S, Huang Y M. Study on the ameliorate benefits of *Caragana korshinskii* shrubwood to soil properties in Loess hilly area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(1): 70-74.
- [7] Zhang L Z, Niu W, Niu Y, Niu X W. Impact of *Caragana* Fabr. plantation on plant community and soil properties of saline-alkali wasteland. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4693-4699.
- [8] Zhang W M. *Modern Molecular Biology Laboratory Manual*. Beijing: Science Press, 2003.
- [9] Lu R K. *Soil Agricultural Chemical Analysis Method*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [10] Lin Q M, Zhao X R, Sun Y X, Yao J. Community characters of soil phosphobacteria in four ecosystems. *Soil and Environmental Science*, 2000, 9(1): 34-37.
- [11] Zhao X R, Lin Q M, Sun Y X, Zhang Y S, Zhang M Q. Phosphobacteria distribution in rhizosphere and nonrhizosphere soil of corn. *Chinese*

- Journal of Ecology, 2001, 20(6): 62-64.
- [12] Han S, Xiao D L, Li L B, Han J G. Diversity of the phosphate solubilizing bacteria isolated from the root of *Phyllostachys pubescens*. Journal of Agricultural University of Hebei, 2010, 33(2): 26-31.
- [13] Ying R L. The dissolving phosphorus microorganisms of our country upland soils. Soil, 1988, 20(5): 243-246.
- [14] Paul N B, Sundara Rao W V B. Phosphate-dissolving bacteria in the rhizosphere of some cultivated legumes. Plant and Soil, 1971, 35(1/3): 127-132.
- [15] Fan B Q, Jin J Y, Ge C. Isolation of *Penicillium oxalicum* and its effect on solubilization of insoluble phosphate under different conditions. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(5): 525-530.
- [16] Vassilev N, Baca M T, Vassileva M, Franco I, Azcon R. Rock phosphate solubilization by *Aspergillus niger* grown on sugar-beet waste medium. Applied Microbiology and Biotechnology, 1995, 44(3/4): 546-549.
- [17] Illmer P, Schinner F. Solubilization of inorganic calcium phosphates solubilization mechanisms. Journal of Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27(3): 257-263.
- [18] Wang F M, Liu G Z, Zhang Y, Wu H Q, Sha C Q, Li Y W, Wang Y Q, Xu H L, Xu G Y. Study of separate and selecte for the dissolve phosphorus microorganisms as well as the effect of dissolve phosphorus in soil. Biotechnology, 1992, 2(6): 34-37.
- [19] Spadaro D, Gullino M L. Improving the efficacy of biocontrol agents against soilborne pathogens. Crop Protection, 2005, 24(7): 601-613.
- [20] Himmel M E, Ruth M F, Wyman C E. Cellulase for commodity products from cellulosic biomass. Current Opinion in Biotechnology, 1999, 10(4): 358-364.
- [21] Ghani A, Rajan S S S, Lee A. Enhancement of phosphate rock solubility through biological processes. Soil Biology and Biochemistry, 1994, 26(1): 127-136.
- [22] Vessey J K, Heisinger K G. Effect of *Penicillium bilaii* inoculation and phosphorus fertilization on root and shoot parameters of field-grown pea. Canadian Journal of Plant Science, 2001, 81(3): 361-366.
- [23] Fan B Q, Jin J Y, Ge C. Effects of phosphate-dissolving fungi on transformation, fixation and efficiency of fertilizer ^{32}P . Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(11): 2142-2146.
- [24] Vassilev N, Baca M T, Vassileva M, Franco I, Azcon R. Rock phosphate solubilization by *Aspergillus niger* grown on sugar-beet waste medium. Applied Microbiology and Biotechnology, 1995, 44(3/4): 546-549.
- [25] Vassilev N, Medina A, Azcon R, Vassileva M. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P-uptake. Plant and Soil, 2006, 287(1/2): 77-84.
- [26] Vassilev N, Vassileva M, Bravo V, Fernández-Serrano M, Nikolaeva I. Simultaneous phytase production and rock phosphate solubilization by *Aspergillus niger* grown on dry olive wastes. Industrial Crops and Products, 2007, 26(3): 332-336.
- [27] Vassileva M, Serrano M, Bravo V, Jurado E, Nikolaeva I, Martos V, Vassilev N. Multifunctional properties of phosphate-solubilizing microorganisms grown on agro-industrial wastes in fermentation and soil conditions. Applied Microbiology and Biotechnology, 2010, 85(5): 1287-1299.
- [28] Medina A, Jakobsen I, Vassilev N, Azcón R, Larsen J. Fermentation of sugar beet waste by *Aspergillus niger* facilitates growth and P uptake of external mycelium of mixed populations of arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(2): 485-492.
- [29] Medina A, Vassilev N, Aguacil M M, Roldán A, Azcón R. Increased plant growth, nutrient uptake, and soil enzymatic activities in a desertified Mediterranean soil amended with treated residues and inoculated with native mycorrhizal fungi and a plant growth-promoting yeast. Soil Science, 2004, 169(4): 260-270.
- [30] Medina A, Vassileva M, Caravaca F, Roldán A, Azcón R. Improvement of soil characteristics and growth of *Dorycnium pentaphyllum* by amendment with agrowastes and inoculation with AM fungi and/or the yeast *Yarrowia lipolytica*. Chemosphere, 2004, 56(5): 449-456.
- [31] Azcón R, del Carmen Perálvarez M, Biró B, Roldán A, Ruíz-Lonsano J M. Antioxidant activities and metal acquisition in mycorrhizal plants growing in a heavy-metal multicontaminated soil amended with treated lignocellulosic agrowaste. Applied Soil Ecology, 2009, 41(2): 168-177.
- [32] Caravaca F, Aguacil M M, Vassileva M, Díaz G, Roldán A. AM fungi inoculation and addition of microbially-treated dry olive cake-enhanced afforestation of a desertified Mediterranean site. Land Degradation and Development, 2004, 15(2): 153-161.
- [33] Carrasco L, Caravaca F, Azcón R, Roldán A. Soil acidity determines the effectiveness of an organic amendment and a native bacterium for increasing soil stabilisation in semiarid mine tailings. Chemosphere, 2009, 74(2): 239-244.

参考文献:

- [2] 范丙全, 金继运, 葛诚. 溶磷真菌促进磷素吸收和作物生长的作用研究. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 620-624.
- [3] 万璐, 康丽华, 廖宝文, 马海宾, 江业根. 红树林根际解磷菌分离、培养及解磷能力的研究. 林业科学研究. 2004, 17(1): 89-94.
- [4] 葛菁萍, 蔡柏岩, 宋刚, 孙宗祥, 平文祥. 土壤中功能真菌的分离及其解磷能力的初步研究. 中国土壤与肥料, 2009, (6): 84-86.
- [5] 牛西午. 柠条研究. 北京: 科学出版社, 2003.
- [6] 安韶山, 黄懿梅. 黄土丘陵区柠条林改良土壤作用的研究. 林业科学, 2006, 42(1): 70-74.
- [7] 张丽珍, 牛伟, 牛宇, 牛西午. 柠条对盐碱地植被组成及土壤特性的影响. 生态学报, 2009, 29(9): 4693-4699.
- [8] 张维铭. 现代分子生物学实验手册. 北京: 科学出版社, 2003.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [10] 林启美, 赵小蓉, 孙炎鑫, 姚军. 四种不同生态系统的土壤解磷细菌数量及种群分布. 土壤与环境, 2000, 9(1): 34-37.
- [11] 赵小蓉, 林启美, 孙炎鑫, 张有山, 张美庆. 玉米根际与非根际解磷细菌的分布特点. 生态学杂志, 2001, 20(6): 62-64.
- [12] 韩烁, 夏冬亮, 李璐滨, 韩继刚. 毛竹根解磷细菌的筛选及多样性研究. 河北农业大学学报, 2010, 33(2): 26-31.
- [13] 尹瑞龄. 我国旱地土壤的溶磷微生物. 土壤, 1988, 20(5): 243-246.
- [15] 范丙全, 金继运, 葛诚. 溶磷草酸青霉菌筛选及其溶磷效果的初步研究. 中国农业科学, 2002, 35(5): 525-530.
- [18] 王富民, 刘桂芝, 张彦. 高效溶磷菌的分离、筛选及在土壤中溶磷有效性的研究. 生物技术, 1992, 2(6): 34-37.
- [23] 范丙全, 金继运, 葛诚. ^{32}P 示踪法研究溶磷真菌对磷肥转化固定和有效性的影响. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2142-2146.

CONTENTS

The community structure of endophytic bacteria in different parts of huanglongbing-affected citrus plants	LIU Bo, ZHENG Xuefang, SUN Daguang, et al (7325)
A research on the response of the radial growth of <i>Pinus koraiensis</i> to future climate change in the XiaoXing'AnLing	YIN Hong, WANG Jing, LIU Hongbin, et al (7343)
Efficiency and kinetic process of nitrogen removal in a subsurface wastewater infiltration system (SWIS)	LI Haibo, LI Yinghua, SUN Tieheng, et al (7351)
Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island	XIAO Yi, CHEN Shengbin, ZHANG Lu, et al (7357)
Assessing ecological services value of herbivorous wild animals in Changtang grassland: a case study of Tibetan antelope	LU Chunxia, LIU Ming, FENG Yue, et al (7370)
Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province	XU Beishen, ZHOU Yong, XU Li, et al (7379)
Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan	LI Ningyun, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (7388)
Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China ...	SONG Xiaolong, LI Xiaowen, ZHANG Mingxiang, et al (7397)
The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau	HAN Daorui, CAO Guangmin, GUO Xiaowei, et al (7408)
The relations of spectrum reflectance with inhomogeneous factors and albedo parameterization ...	ZHANG Jie, ZHANG Qiang (7418)
Groundwater ecological sensitivity assessment in the lower Liaohe River Plain based on GIS technique	SUN Caizhi, YANG Lei, HU Dongling (7428)
Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (7441)
Investigation and analysis on situation of ecotourism development in protected areas of China	ZHONG Linsheng, WANG Jing (7450)
Handicapping male-cheaters by stable mate relationship in yellow-bellied prinia, <i>Prinia flaviiventris</i>	CHU Fuyin, TANG Sixian, PAN Hujun, et al (7458)
Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female <i>Microtus fortis</i>	ZHU Junxia, WANG Yong, ZHANG Meiwen, et al (7464)
Predator-prey system with positive effect for prey	QI Jun, SU Zhiyong (7471)
Volatile constituents of four moraceous host plants of <i>Apriona germari</i>	ZHANG Lin, WANG Baode, XU Zhichun (7479)
Relationship between adult emergence of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) and temperature and relative humidity	YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WANG Bao, et al (7486)
Nest site selection and reproductive success of <i>Parus varius</i> in man-made nest boxes	LI Le, WAN Dongmei, LIU He, et al (7492)
A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands	SONG Lun, YANG Guojun, LI Ai, et al (7500)
The spatial-temporal change variations of temperature in Xilinguole steppe zone	WANG Haimei, LI Zhenghai, WU Lan, et al (7511)
The growth and photosynthetic responses of <i>Cleyera japonica</i> Thunb. seedlings to UV-B radiation stress	LAN Chunjian, JIANG Hong, HUANG Meiling, et al (7516)
Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation	ZHAO Fenghua, WANG Qiufeng, WANG Jianlin, et al (7526)
Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of <i>Nitratia Tangutorum</i>	GONG Guoli, CHEN Hui, DUAN Deyu (7533)
Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter	YONG Shiquan, TONG Chuan, ZHUANG Chenhui, et al (7542)
Correlation between ecological factors and ginsenosides	XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, et al (7551)
Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XIE Xiaomei, LIAO Min, YANG Jing (7564)
Isolation of phosphate solubilizing fungus (<i>Aspergillus niger</i>) from <i>Caragana</i> rhizosphere and its potential for phosphate solubili- zation	ZHANG Lizhen, FAN Jingjing, NIU Wei, et al (7571)
Effect of raindrop impact on nutrient losses under different near -surface soil hydraulic conditions on black soil slope	AN Juan, ZHENG Fenli, LI Guifang, et al (7579)
Emergy analysis of coal-fired power generation system and construction of new emergy indices	LOU Bo, XU Yi, LIN Zhenguan (7591)
Review and Monograph	
The impact of forest vegetation change on water yield in the subalpine region of southwestern China	ZHANG Yuandong, LIU Shirong, et al (7601)
Reviews on spatial pattern and sand-binding effect of patch vegetation in arid desert area	HU Guanglu, ZHAO Wenzhi, WANG Gang (7609)
Sustainable management on pests by agro-biodiversity	GAO Dong, HE Xiahong, ZHU Shusheng (7617)
Scientific Note	
Characteristics of organic carbon and nutrient content in five soil types in Honghu wetland ecosystems	LIU Gang, SHEN Shouyun, YAN Wende, et al (7625)
Effects of cypermethrin and deltamethrin on reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	HUANG Lin, LIU Changli, WEI Chuanbao, et al (7632)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 31 卷 第 24 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 24 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元