

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会
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 32 卷 第 7 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例	 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理	 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究	 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期	 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究	 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

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

DOI: 10.5846/stxb201109261413

金凌波,周峰,姚涓,姜大刚,梅曼彤,穆虹. 磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响. 生态学报, 2012, 32(7): 2082-2090.

Jin L B, Zhou F, Yao J, Jiang D G, Mei M T, Mu H. Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2082-2090.

磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响

金凌波,周 峰,姚 涓,姜大刚,梅曼彤,穆 虹*

(农业部转基因植物及植物用微生物环境安全监督检验测试中心(广州),华南农业大学,广州 510642)

摘要:旨在了解转拟南芥紫色酸性磷酸酶基因的磷高效转基因大豆 AP15-1 的种植对土壤微生物生态的影响。于春秋两季在网室种植转基因大豆 AP15-1 及其受体 YC03-3,在大豆幼苗期、盛花期和成熟期,分别采集根际土和非根际土。平板菌落计数的实验结果显示:AP15-1 和 YC03-3 根际土与非根际土中可培养细菌、真菌和放线菌的数量在不同的季节和不同的生长期是会发生一定的变化,但没有明显的规律;两者根际土间及根际与非根际土间,细菌、真菌和放线菌数量没有明显的差异。BIOLOG 生态板实验对碳源代谢特征分析结果显示:同季 AP15-1 和 YC03-3 根际土中微生物总体代谢活性要强于非根际土,但 AP15-1 和 YC03-3 根际土间及根际与非根际土间,微生物碳代谢活性差异均不显著;并且 AP15-1 与 YC03-3 根际土微生物对四大类碳源的代谢也没有明显的偏好。对春秋两季成熟期的 BIOLOG 数据进行生态学丰富度与多样性指数计算分析,也未发现 AP15-1 和 YC03-3 根际土及非根际土间存在显著性差异。主成份和聚类分析结果显示:相同季节和相同生长期,AP15-1 和 YC03-3 根际间的差异小于根际与非根际间的差异;季节和大豆生长时期对根际微生物群落造成的影响要大于 AP15-1 与 YC03-3 个体差异所产生的影响。研究结果表明转酸性磷酸酶基因的磷高效转基因大豆种植对根际土壤可培养微生物的数量和群落结构没有产生显著的影响。

关键词:大豆;酸性磷酸酶;转基因;BIOLOG 生态板;根际微生物

Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community

JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, JIANG Dagang, MEI Mantong, MU Hong*

Environmental Safety Monitoring and Testing Center for Genetically-Modified Plants and Microorganisms Used in Plants (Guangzhou), Ministry of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract: Farming is faced with the problems of excessive fertilizer use and the reduction of nutrient use efficiency. Phosphorus is one of the macronutrients necessary for plant growth and development. However, phosphorus is usually immobilized by organic substances or oxidized surfaces of iron-aluminum, and exists in the form of organic or inorganic phosphorus, which makes uptake from most soils difficult. It is well known that acid phosphatase increases the use efficiency of organic phosphorus by releasing inorganic phosphorus from organic phosphorus such as phytate. *AtPAP15* encodes a purple acid phosphatase, which has been observed to have phytase activity, in *Arabidopsis thaliana*. *AtPAP15* was over-expressed in transgenic soybean AP15-1 and its expression product was secreted into the rhizosphere because of the presence of a carrot extension gene signal peptide, and thus enhanced use of soil organic phosphorus. Previously, there have not been many reports of research concerning the effects of such nutrient-efficient transgenic plants on soil ecology. In this study, the effects of P-efficient transgenic soybean AP15-1 on soil ecology, especially on the rhizosphere microbial community, were investigated. Transgenic soybean AP15-1 and its receptor YC03-3 were planted in vent-netting greenhouse in 3 m × 5 m experimental plots with three replicates. Soybeans were planted in two successive spring and

基金项目:转基因生物新品种培育重大专项(2009ZX08011-024B)

收稿日期:2011-09-26; 修订日期:2012-02-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mhong@scau.edu.cn

autumn seasons, and no manure, herbicide or pesticide was used. To ascertain if phytase activity in root exudates of transgenic soybean AP15-1 affects the soil microbe ecosystem, the rhizosphere and non-rhizosphere soil of AP15-1 and its receptor YC03-3 were collected at seedling, florescence and mature developmental stages and analyzed by plate culture count and BIOLOG-EcoPlate. The number of colony forming units (CFU) indicated that the number of culturable bacteria, fungi and actinomycetes varied with seasons and development stages. There were no apparent differences in numbers of bacteria, fungi and actinomycetes among rhizosphere and non-rhizosphere soil of AP15-1 and YC03-3. The absorbance of BIOLOG-EcoPlate at 590 nm and 750 nm was recorded using microplate spectrophotometer and the average well color development (AWCD) values were calculated. The curves of AWCD versus incubation time showed that the carbon metabolic activity of microbes in rhizosphere soil was higher than that in non-rhizosphere soil from the same season. However, statistical analysis indicated that no significant differences in carbon metabolic activity and carbon source preference were observed among rhizosphere and non-rhizosphere soils of AP15-1 and YC03-3. Statistical analysis of the calculated microbial abundance and diversity index also exhibited no distinct differences among rhizosphere and non-rhizosphere soils of AP15-1 and YC03-3. Principal component and clustering analyses revealed that the difference between the rhizosphere of AP15-1 and YC03-3 was less than that between rhizosphere and non-rhizosphere soil from the same season and at the same plant developmental stage. The effects of season and developmental stage on the community diversity of rhizosphere microbes were greater than that resulting from the genotype differences between AP15-1 and YC03-3. In conclusion, these results demonstrated that the P-efficient transgenic soybean AP15-1 planted in spring and autumn had no significant impact on the soil microbial numbers and community structures.

Key Words: soybean; acid phosphatase; transgenic; BIOLOG-EcoPlate; rhizosphere microorganism

至今,转基因作物在全球每年的种植面积不断增加,2010 年全球 29 个国家种植转基因作物 1.48 亿 hm^2 , 种植面积比 2009 年增加 10%。从 1996 年至 2010 年,全球转基因作物种植面积增加了 86 倍,累计已经超过 10 亿 hm^2 ^[1]。转基因作物的安全性及对生态环境的影响,已日益受到公众的关注和争议。目前,对转基因作物环境安全性评价主要集中在基因漂移、对靶标和非靶标生物及对农业生态环境的影响等方面^[2-3]。

作物的生长离不开土壤和养分,当前我国农业生产面临着增肥不增产、土壤养分过量累积、化肥施用过量 and 养分利用效率下降等重大问题,大幅度提高作物产量和养分利用效率是我国农业可持续发展的关键^[4]。氮磷钾养分吸收、转运、同化和循环再利用等过程机制的研究及相关功能基因的克隆、功能分析和转化,最终获得养分高效利用的转基因作物已成为国内外研究的热点^[5-8]。磷素为植物正常生长、发育必需的大量营养元素之一。然而,在大部分土壤中,磷被土壤中的有机物或铁铝的氧化胶膜所固定,转变为不易被植物吸收的有机或无机磷。酸性磷酸酶可以将作物难以利用的有机磷以无机磷的形式释放出来,从而提高植物对有机磷的利用^[9]。王秀荣等首次成功地将拟南芥中的紫色酸性磷酸酶基因 *AtPAP15* 连上根分泌导肽转入大豆,获得了酸性磷酸酶活性明显提高的稳定的转基因株系。该转基因大豆对土壤中植酸磷和体内有机磷再利用能力明显提高,在仅施植酸磷沙培条件下,大豆植株生物量和磷吸收量分别增加 117.8% 和 90.1%,是一个可用于新品种选育的磷素高效利用的转基因大豆新材料^[10]。

土壤微生物功能多样性与土壤功能关系密切,微生物群落结构与组成变化会直接影响土壤功能的发挥^[11]。该磷高效转基因大豆通过根系分泌外源基因表达产物酸性磷酸酶,在提高植物对土壤磷养分吸收利用的同时,也可能对土壤的微生物生态环境产生一定的影响。目前,有关植物养分高效利用转基因材料种植对土壤生态环境影响的相关报道较少。本研究主要利用平板菌落计数法与 BIOLOG 生态板培养法,研究转 *AtPAP15* 磷高效转基因大豆的种植,对土壤环境特别是根际土壤微生物数量和群落结构产生的影响。本研究结果可以为该磷高效转基因大豆新材料将来的应用及同类转基因材料的环境安全性提供一定的科学依据。

1 材料方法

1.1 供试材料

转拟南芥紫色酸性磷酸酶基因 *AtPAP15* 大豆 (AP15-1) 及其受体粤春 03-3 (YC03-3), 由华南农业大学根系生物学中心提供。转入的 *AtPAP15* 基因由 35S 启动子驱动, 表达产物 N 端连有胡萝卜根分泌导肽^[10]。

1.2 试验设计和材料种植

试验在位于华南农业大学增城田间基地的转基因植物田间监测与安全评价基地进行, 转基因大豆 AP15-1 及其受体 YC03-3 种植在网室的水泥池中。每个种植池 3 m×5 m, 从中间一分为二, 随机一半种植 AP15-1 一半种植 YC03-3, 共设置 3 个重复。种植池中土壤主要养分氮磷钾含量分别为: 全氮 0.94 g/kg、全磷 0.76 g/kg、全钾 22.41 g/kg、碱解氮 57.81 mg/kg、速效磷 90.17 mg/kg、有机磷 98.8 mg/kg、速效钾 0.01 mg/kg。大豆种植由专人管理, 为减少耕作措施对土壤微生物数量和类群的影响, 大豆种植期间不施肥、不喷洒杀虫剂和除草剂。

1.3 土样采集

春秋两季在大豆生长的苗期 (4 月 20 日; 8 月 27 日)、盛花期 (5 月 14 日; 9 月 10 日) 和成熟期 (6 月 30 日; 10 月 9 日), 在小区按五点法, 选择长势比较一致的大豆植株, 采用“抖根法”采集 5—10 株植株的根际土, 合并混匀为一个根际土样。同时在采集根际土样植株的旁侧, 约与大豆植株根系同等深度的剖面上, 采集适量土壤, 合并混匀为一个非根际土样。田间采集的土壤样品用新的塑料封口袋封装, 放置于冰盒内, 带回实验室后先称取少量进行土壤含水量的测定, 其余在 4 °C 下保存, 于第 2 天进行平板培养和 BIOLOG 生态板培养实验。

1.4 平板培养

平板培养法采用牛肉膏蛋白胨培养基、改良高氏一号培养基和马丁氏培养基, 分别对土壤中可培养的细菌、放线菌和真菌进行分离培养。土壤菌液的制备和稀释过程: 称取相当于 10 g 烘干土壤的鲜土 (设 3 个平行样), 加入到盛有 90 mL 无菌生理盐水的三角瓶内, 放置于摇床上 225 r/min 震荡 30 min, 静置 5 min 后, 吸取 2 mL 上清液, 加入到含有 18 mL 无菌生理盐水的三角瓶内, 充分摇晃约 10 s; 然后再吸取 2 mL 上清液, 加入到放有 18 mL 的无菌生理盐水的三角瓶内, 充分混匀; 依次稀释获得稀释度为 10^{-4} 和 10^{-5} 菌液。细菌培养采用稀释度为 10^{-4} 和 10^{-5} 菌液 0.1 mL 进行接种涂板, 每个稀释度重复涂 3 块平板, 然后在 37 °C 下培养 1 d; 放线菌培养采用稀释度为 10^{-2} 和 10^{-3} , 在 37 °C 下培养 1—2 d; 真菌培养采用稀释度为 10^{-1} 和 10^{-2} , 在 37 °C 下培养 3 d, 进行平板菌落计数。

1.5 BIOLOG 生态板培养

用八通道移液器吸取上述稀释度为 10^{-3} 菌液, 加入 BIOLOG 生态板中, 每微孔加 150 μ L。然后将微平板放置于 30 °C 恒温培养箱内温育。采用 Beckman Beachmark plus 酶标仪, 分别读取 590 nm 与 750 nm 的光吸收值, 每 24 h 读板 1 次, 连续读 7 次。每个样品的平均颜色变化率 (Average Well Color Development, AWCD 值) $= \sum (C - R) / n$ ^[12], 公式中 C 为每个碳源孔的 $OD_{590} - OD_{750}$; R 为对照孔的光密度值; $n=31$ 为 BIOLOG 生态板中培养基碳源种类数。选择 AWCD 曲线上 72 h 时间点, 按公式计算 Shannon 指数 (H)、Shannon 均匀度 (E)、Simpson 指数 (D) 与 McIntosh 指数 (U)^[13]。

1.6 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS18.0 软件进行统计分析、主成份和聚类分析。试验数据采用单因素方差分析法; 两个均数间差异性分析采用 T 检验; 主成分分析使用固定因子法, 固定为 2 个主成分因子; 聚类分析采用系统聚类法。

2 结果与分析

2.1 细菌、放线菌和真菌平板培养

为了解转基因大豆 AP15-1 种植对根际土壤中可培养细菌、真菌和放线菌数量的影响, 采用平板培养法,

对转基因大豆 AP15-1 及其受体 YC03-3 根际土与非根际土中细菌、真菌和放线菌数量进行了统计分析。春季结果(表 1)显示:在大豆苗期、盛花期和成熟期采集的根际土中,细菌数量在盛花期远远多于苗期和成熟期,并且 AP15-1 和 YC03-3 根际土中细菌的数量也明显多于非根际土;对于放线菌,苗期、盛花期和成熟期非根际土中均要高于根际土,而且放线菌数量最高出现在成熟期;真菌数量在苗期和盛花期变化不大,到成熟期数量明显下降。秋季种植的大豆 AP15-1 和 YC03-3 根际与非根际土中细菌、放线菌和真菌数在苗期、盛花期和成熟期数量分布与春季明显不同,细菌数量最高出现在成熟期,放线菌数量根际土中多于非根际土,并且秋季真菌数量明显少于春季(结果未示)。上述平板培养法结果显示:转基因大豆 AP15-1 与其受体 YC03-3 根际土中可培养的细菌、真菌和放线菌数量在不同的季节和不同的生长期是会发生一定的变化,并且没有明显的规律。对转基因大豆 AP15-1 及其受体 YC03-3 的根际土间及根际与非根际间细菌、真菌和放线菌数量的差异进行 *T* 值检验分析,没有发现有显著性差异。

表 1 春季大豆不同生长时期根际与非根际土壤中细菌、真菌和放线菌的培养数量

Table 1 Numbers of bacteria, fungi and actinomyces in rhizosphere and non-rhizosphere of soybean at three different developmental stages in spring

样品 Sample	细菌数量($\times 10^5$ 个/g 土) Number of bacteria			真菌数量($\times 10^2$ /g 土) Number of fungi			放线菌数量($\times 10^3$ 个/g 土) Number of actinomyces		
	苗期 Seedling	盛花期 florescence	成熟期 mature	苗期 Seedling	盛花期 florescence	成熟期 mature	苗期 Seedling	盛花期 florescence	成熟期 mature
APGJ	6.3 $\pm$ 3.2	81.9 $\pm$ 36.8	21.1 $\pm$ 1.6	14.8 $\pm$ 10.3	13.9 $\pm$ 6.3	1.8 $\pm$ 0.7	29.3 $\pm$ 11.2	12.4 $\pm$ 6.6	65.6 $\pm$ 16.6
APFG	8.9 $\pm$ 7.6	29.8 $\pm$ 12.8	21.1 $\pm$ 1.7	11.1 $\pm$ 6.9	10.9 $\pm$ 3.8	2.7 $\pm$ 1.3	90.4 $\pm$ 28.2	39.1 $\pm$ 26.7	109.6 $\pm$ 35.1
YCGJ	11.6 $\pm$ 2.6	109.0 $\pm$ 69.9	10.8 $\pm$ 0.5	7.2 $\pm$ 4.1	5.7 $\pm$ 2.3	5.5 $\pm$ 3.3	15.8 $\pm$ 6.0	13.1 $\pm$ 3.8	30.3 $\pm$ 7.2
YCFG	9.4 $\pm$ 5.4	29.8 $\pm$ 22	6.9 $\pm$ 2.6	8.4 $\pm$ 5.6	7.0 $\pm$ 2.5	1.3 $\pm$ 0.8	33.4 $\pm$ 29.3	47.6 $\pm$ 6.5	117.6 $\pm$ 80.9

表中数据为 3 次重复的平均值 $\pm$ 标准差;同一列数据单因素方差分析显示相互间差异不显著($P>0.05$); APGJ, YCGJ; 分别表示 AP15-1 和 YC03-3 根际土; APFG, YCFG; 分别表示 AP15-1 和 YC03-3 非根际土

2.2 BIOLOG 生态板培养

2.2.1 土壤微生物群落对 BIOLOG 生态板 31 种碳源的代谢特征

为进一步了解转基因大豆 AP15-1 及其受体 YC03-3 根际与非根际土中可培养微生物群落对碳源利用的能力,采用 BIOLOG 生态板对不同季节和不同生长时期 AP15-1 和 YC03-3 大豆根际与非根际土微生物进行了研究。从图 1a—c 可以看出,春季大豆苗期、盛花期和成熟期 AP15-1 和 YC03-3 根际土中微生物代谢活性要强于非根际土(秋季也有类似的结果未示)。而从春秋两季根际土中微生物代谢活性的情况来看(图 1d—f),可以发现在苗期和盛花期,秋季根际土微生物碳代谢强度高于春季,而在成熟期则春季强于秋季。春秋季苗期 AP15-1 根际土微生物碳代谢强度曲线与 YC03-3 的基本重叠,而在盛花期和成熟期,AP15-1 与 YC03-3 根际土碳代谢活性春秋季互为相长,但总体差异 *T* 值检验结果显示 *P* 值均大于 0.05,表明 AP15-1 和 YC03-3 根际土间,微生物碳代谢活性差异均不显著。整体碳代谢活性测定结果显示:转基因大豆 AP15-1 与其受体 YC03-3 种植,对其根际与非根际土中微生物碳代谢活性没有显著影响,而季节的影响似乎更明显一些。

2.2.2 根际微生物利用不同种类碳源的代谢特征

将 BIOLOG 生态板上 31 种碳源分为糖类及其衍生物、氨基酸类及其衍生物、脂肪酸和脂类以及代谢中间产物和次生代谢物四大类^[14],分析转基因大豆 AP15-1 与受体 YC03-3 根际土微生物对上述四类碳源代谢的动力学特征。图 2 显示的是春秋两季成熟期 AP15-1 和 YC03-3 根际土对上述四类碳源代谢活性的变化,可以看出,成熟期春季根际微生物利用四类碳源的活性都强于秋季。除氨基酸及其衍生物碳源外,春季 AP15-1 根际微生物对其它三类碳源的代谢活性要高于 YC03-3;而在秋季则相反,并且培养到第 6 天,秋季根际土微生物利用代谢中间产物和次生代谢物、氨基酸及其衍生物的活性接近和超过春季根际土。虽然 AP15-1 与 YC03-3 根际土对四大类碳源的代谢活性有一定差异,但是对四类碳源的代谢也没有显示明显的偏好特征,并且同季总体差异也不大。

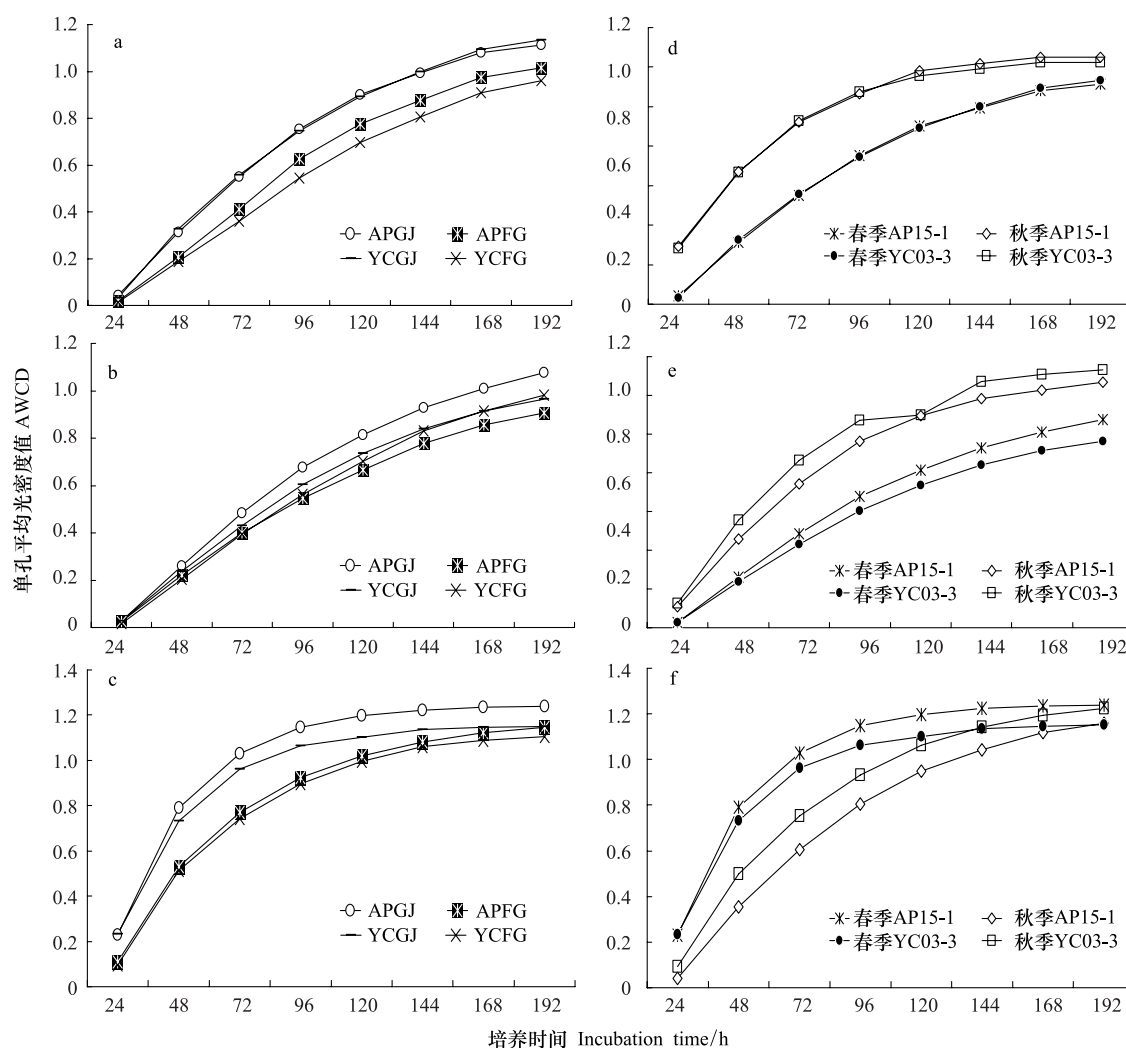


图1 转基因大豆 AP15-1 及其受体 YC03-3 根际与非根际土微生物 AWCD 值的变化

Fig. 1 Changes of AWCD of microbe in rhizosphere or non-rhizosphere of transgenic soybean AP15-1 and its receptor YC03-3

a—c: 分别为春季大豆苗期、盛花期和成熟期 AP15-1 及 YC03-3 根际与非根际土微生物 AWCD 值随时间的变化情况; APGJ, YCGJ: 分别表示 AP15-1 和 YC03-3 根际土; APFG, YCFG: 分别表示 AP15-1 和 YC03-3 非根际土; d—f: 分别为春秋两季大豆苗期、盛花期和成熟期 AP15-1 及 YC03-3 根际土微生物 AWCD 值变化情况

2.2.3 微生物群落利用碳源的丰富度和多样性指数

Shannon 指数和 Shannon 均匀度是反应土壤微生物的丰富度和均匀度的重要指数; Simpson 指数是评价某系统最常见种的优势度指数; McIntosh 指数是基于群落物种多维空间上距离多样性的指数和均匀度^[15]。根据公式计算得到的春秋两季大豆成熟期土壤微生物生态学指数值结果(表 2)显示同季 AP15-1 与 YC03-3 根际土与根际土、非根际土与非根际土微生物群落多样性指数值非常接近, 均不存在显著差异。而春秋不同季节上述土壤微生物群落多样性指数值差异相对比较大, 差异显著($P < 0.05$)。

2.2.4 主成份和聚类分析

根系分泌物、不同生长时期、季节和气候对土壤微生物都会产生影响, 为了找出 AP15-1 和 YC03-3 种植对根际微生物影响的主要因素, 对春秋根际土 BIOLOG 生态板试验数据进行了主成分分析(图 3), 得到的主成分一贡献率达到了 67.50%, 主成分 2 的贡献率也有 14.06%, 两个主成分总计贡献率达 81.56%, 完全可以说明数据之间的差异。春秋两季的根际土样明显地分布在 Y 轴(主成分 2)上下方, 而同季大豆 3 个不同生长时期根际土样, 除秋季成熟期 AP15-1 和 YC03-3 在 X 轴上相距较远外, 其余同季相同生长期的 AP15-1 和

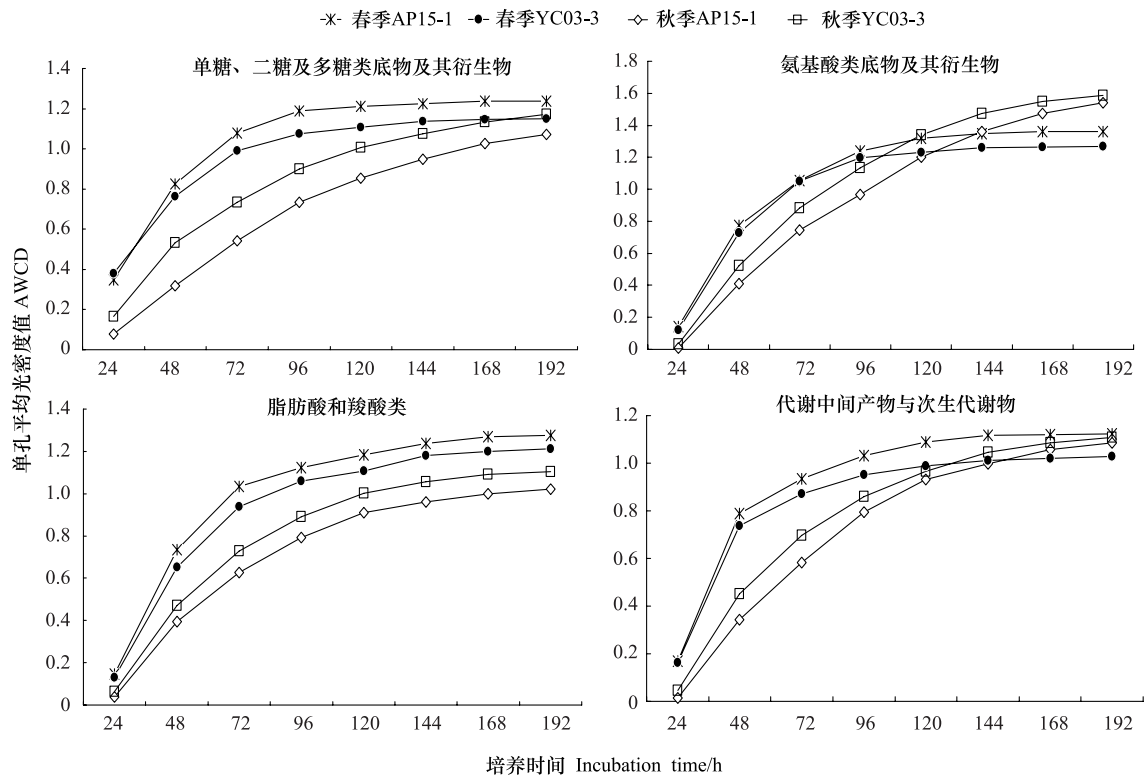


图2 成熟期转基因大豆 AP15-1 及其受体 YC03-3 根际土壤微生物对四类碳源的代谢活性

Fig. 2 Metabolic activities of four different carbon sources utilized by microbe in rhizosphere of transgenic soybean AP15-1 and its receptor YC03-3 at mature stage

YC03-3 在 X 轴上靠的最近,说明季节和大豆生长发育阶段对于根际土壤微生物群落的影响要大于 AP15-1 和 YC03-3 基因型上的不同。此外,如果将春秋季同一生长期根际土与非根际土 BIOLOG 生态板试验结果进行主成分分析,可以发现基本上同季苗期、盛花期和成熟期,AP15-1 与 YC03-3 根际土和非根际土散点分别聚集在一起,说明同季同期根际与非根际之间的差异要大于 AP15-1 和 YC03-3 基因型上的不同。

表2 春秋季大豆成熟期根际与非根际微生物生态学指数

Table 2 Microbial ecology indexes of rhizosphere and non-rhizosphere microbial communities of soybean at mature stage planted in spring and autumn

样品 Sample	香农指数 <i>H</i> Shannon-wiener index <i>H</i>		香农均匀度指数 <i>E</i> Shannon-wiener index <i>E</i>		辛普生多样性指数 <i>D</i> Simpson's diversity index <i>D</i>		McIntosh 指数 <i>U</i> McIntosh index <i>U</i>	
	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn
	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn
APGJ	3.333	1.010	0.970	0.294	0.963	0.941	0.194	0.243
APFG	3.076	1.059	0.896	0.308	0.948	0.935	0.227	0.254
YCGJ	3.335	1.062	0.971	0.309	0.962	0.948	0.194	0.228
YCFG	3.064	0.979	0.892	0.285	0.944	0.931	0.232	0.261

表中数据为3次重复的平均值±标准差;同一列数据单因素方差分析显示相互间差异不显著($P>0.05$);APGJ, YCGJ: 分别表示 AP15-1 和 YC03-3 根际土;APFG, YCFG: 分别表示 AP15-1 和 YC03-3 非根际土

将春秋根际土 BIOLOG 生态板试验数据进一步进行聚类分析的结果如图4。从图中可以看出,12 个根际土样初步按季节聚类成两大簇,其中春季苗期、花期 AP15-1 和 YC03-3 根际土;秋季苗期、花期 AP15-1 和 YC03-3 根际土以及成熟期 YC03-3 根际土分属这两簇的主要成员,除了秋季花期和成熟期,其余同季同期的 AP15-1 和 YC03-3 根际土都处于一级聚类,显示它们之间的关系最接近。春季的成熟期根际土与秋季苗期聚在一起,可能是这两个相邻的时期土壤环境改变比较小所致。

3 结论与讨论

转基因植物在田间种植可通过根茬、残枝落叶、根系分泌物等途径,将外源基因及其表达产物带入土壤生态系统,从而可能对土壤微生物数量和生物多样性、及土壤养分的释放和有效性等产生影响^[16-18]。至今,国内外对转基因植物种植对土壤微生物群落结构和功能多样性的影响已进行了不少研究,得到的结果也不尽相同。袁红旭等采用转几丁质酶和葡聚糖的抗真菌转基因水稻进行根际微生物研究,发现根际和根内细菌和真菌数量均显著少于其非转基因对照^[19];而李本金等用上述同样的转基因水稻进行的研究则显示转基因水稻根际细菌、放线菌和真菌数量发生了一定的变化,但与非转基因对照差异不显著^[20]。Dunfield 和 Germida 在研究转相同基因的抗除草剂油菜 4 个株系时发现其中一个转基因株系的根际微生物群落多样性发生了改变,而另外 3 个转基因株系却对根际微生物没有产生影响^[21]。Heuer 等研究转 T4 溶菌酶基因土豆发现根际微生物群落结构主要与季节、种植地点和年份有关^[22];Becker 等将转产生果聚糖基因土豆种植 3a,发现根际微生物受转基因因素影响要小于季节、年份和田地的异质性所产生的影响^[23];Baumgarte 和 Tebbe 以转基因抗虫玉米 Mon10 为材料进行的研究发现 Cry1Ab 在根际土中的残留量大于非根际土,但是根际微生物群落结构并没有受到明显影响,转基因的影响要小于其它环境因素^[24]。这一系列的研究结果显示转基因材料种植对土壤微生物的影响与转基因材料有关,还与种植地点、季节和研究分析方法等有关^[17]。

本研究通过平板培养和 BIOLOG 生态板对转酸性磷酸酶 AtPAP15 磷高效转基因大豆种植根际土中微生物数量和群落水平多样性的研究,结果显示:转基因大豆 AP15-1 与其受体 YC03-3 之间,其根际细菌、放线菌和真菌数量及群落水平多样性虽然存在一些差异,但这些差异却不如根际与非根际之间、苗期、盛花期和成熟期不同的生长阶段之间及春秋季节变化对于土壤微生物数量和群落水平产生的差异大。Adilia 等在研究抗虫转基因玉米时也观察到明显的季节效应和根际与非根际之间的差别,并发现转基因玉米种植两年后没有明显改变土壤微生物数量和活性^[25]。而 Houlden 等也观察到植物的不同发育阶段对根际微生物多样性和活性的影响^[26]。

研究结果表明转酸性磷酸酶基因并可将表达产物分泌到根外的磷高效转基因大豆 AP15-1,其种植对根

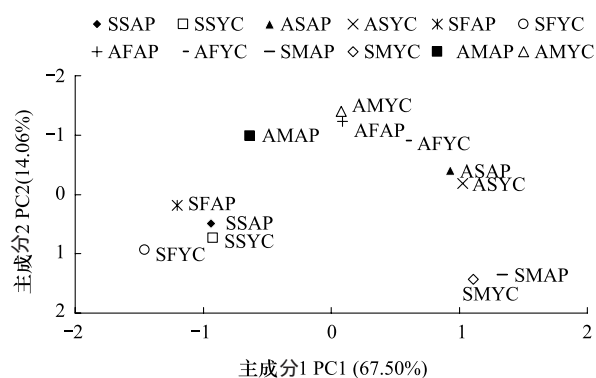


图3 春秋季大豆不同生长期根际土微生物功能多样性主成份分析

Fig. 3 Principal components analysis on function diversity of microbe in rhizosphere of soybean at three different developmental stages planted in spring and autumn

SSAP, SFAP 和 SMAP;分别表示春季 AP15-1 在苗期、花期和成熟期的根际土;SSYC, SFYC 和 SMYC;分别表示春季 YC03-3 在苗期、花期和成熟期的根际土;ASAP, AFAP, AMAP, ASYC, AFYC 和 AMYC;分别表示秋季 AP15-1 和 YC03-3 在苗期、花期和成熟期的根际土

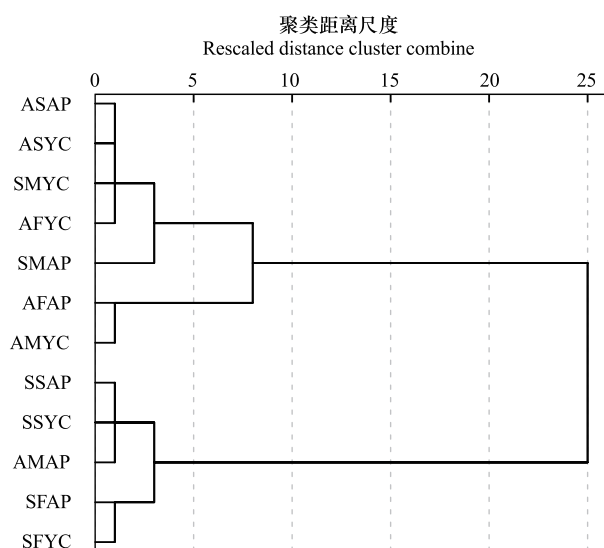


图4 春秋季大豆不同生长期根际土微生物群落多样性聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis on microbial communities diversity in rhizosphere of soybean at three different developmental stages planted in spring and autumn

SSAP, SFAP 和 SMAP;分别表示春季 AP15-1 在苗期、花期和成熟期的根际土;SSYC, SFYC 和 SMYC;分别表示春季 YC03-3 在苗期、花期和成熟期的根际土;ASAP, AFAP 和 AMAP;分别表示秋季 AP15-1 在苗期、花期和成熟期的根际土;ASYC, AFYC 和 AMYC;分别表示秋季 YC03-3 在苗期、花期和成熟期的根际土

际土壤微生物数量和群落水平没有产生显著的影响。本结果与 George 等首次报道异源表达植酸酶并分泌到细胞外的转基因烟草对根际和土壤相关微生物群落结构无明显的影响的结果类似^[27]。George 等研究采用的转基因烟草中异源的植酸酶基因是由 35S 或磷酸盐转运蛋白启动子驱动并连有胡萝卜分泌导肽,与所用的转基因大豆 AP15-1 中将酸性磷酸酶分泌到根外的原理相似,虽然他们采用的末端片段长度多态性(Terminal Fragment Length Polymorphism, T-RFLP)分析方法与本研究的不同,但得到的结果也表明引入植物酶基因,单基因的改变对根际微生物群落没有产生明显的影响,反而试验中不同的土壤处理,由于干扰微生物量和改变了磷营养水平,对微生物群落结构产生了显著影响。

土壤微生物数量繁多种类复杂,本研究采用的研究方法平板培养和 BIOLOG 生态板根本上都还是以培养为基础的研究方法,得到的菌落数量及群落代谢多样性的类型并没有反映转基因材料种植根际土壤整个微生物群落的功能多样性的情况。因此,对根际土中不可培养的土壤微生物及对土壤磷代谢相关微生物类群的影响,还需通过分子生物学等的研究手段来进一步研究揭示。此外,还需通过大田及长期种植跟踪试验来观察该磷高效材料种植对根际微生物的影响是否有累积效应。

致谢:华南农业大学根系生物学中心王秀荣副教授、廖红教授提供转基因大豆材料,华南农业大学资源环境学院刘可星副教授对 Biolog 实验及数据分析提供帮助。

References:

- [1] James C. Global status of commercialized biotech/GM crops; 2010. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, NY.
- [2] Jia S R. Environmental risk assessment of GM crops: progress in risk assessment. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(2): 175-187.
- [3] Lu B R, Xia H. Environmental biosafety of transgenic plants: research and assessment of transgene escape and its potential ecological impacts. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 2011, 23(2): 186-194.
- [4] Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q, Li C J, Chen X P. Current status of soil and plant nutrient management in China and improvement strategies. *Chinese Bulletin of Botany*, 2007, 24(6): 687-694.
- [5] Yan X L, Wu P, Ling H Q, Xu G H, Xu F S, Zhang Q F. Plant nutriomics in China: an overview. *Annals of Botany*, 2006, 98(3): 473-482.
- [6] Hirel B, Gouis J L, Ney B, Gallais A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 2007, 58(9): 2369-2387.
- [7] Shenoy V V, Kalagudi G M. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. *Biotechnology Advances*, 2005, 23(7/8): 501-513.
- [8] Rengel Z, Damon P M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. *Physiologia Plantarum*, 2008, 133(4): 624-636.
- [9] Ma X Q, Liang X. Research advances in mechanism of high phosphorus use efficiency of plants. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 712-716.
- [10] Wang X R, W Y X, Tian J, Lim B L, Yan X L, Liao H. Overexpressing *AtPAP15* enhances phosphorus efficiency in soybean. *Plant Physiology*, 2009, 151(1): 233-240.
- [11] Zhang J, Zhang H W, Li X Y, Su Z C, Zhang C G. Soil microbial ecological process and microbial functional gene diversity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(6): 1129-1132.
- [12] Garland J L, Mills A L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization. *Applied Environmental Microbiology*, 1991, 57(8): 2351-2359.
- [13] Magurran A E. *Ecological Diversity and Its Measurement*. New Jersey: Princeton University Press, 1988: 1-179.
- [14] Zhang Y Y, Qu L Y, Chen L D. An amendment on information extraction of Biolog EcoPlate™. *Microbiology*, 2009, 36(7): 1083-1091.
- [15] Lu Y, He C P, Wu W H, Fan Z W. Effect of Transgenic Banana Plants on the Microorganism in the Soil. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2008, 29(1): 38-41.
- [16] Wang Z H, Ye Q F, Shu Q Y, Cui H R, Xia Y W, Zhou M Y. Impact of root exudates from transgenic plants on soil micro-ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 373-375.
- [17] Dunfield K E, Germida J J. Impact of genetically modified crops on soil-and plant-associated microbial communities. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33(3): 806-815.
- [18] Wang H Z, Xu J M, Xie Z M. Residues of transgenic plants in soil and impact on soil organisms. *Soils*, 2005, 37(4): 370-374.
- [19] Yuan H X, Zhang J Z, Guo J F, Xu X P, Li Y R. Activities of microbes and enzymes in soil after growing transgenic rice with two extra anti-

- fungus genes. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(1): 122-126.
- [20] Li B J, Li Y R, Hu Q Y, Zheng Y, Hu X B. Effects of transgenic fungus-resistant rice on microorganism populations in rhizospheric soils. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition*, 2006, 35(3): 319-323.
- [21] Dunfield K E, Germida J J. Diversity of bacterial communities in the rhizosphere and root interior of field-grown genetically modified *Brassica napus*. *FEMS Microbiology Ecology*, 2001, 38(1): 1-9.
- [22] Heuer H, Kroppenstedt R M, Lottmann J, Berg G, Smalla K. Effects of T4 Lysozyme release from transgenic potato roots on bacterial rhizosphere communities are negligible relative to natural factors. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, 68(3): 1325-1335.
- [23] Becker R, Behrendt U, Hommel B, Kropf S, Ulrich A. Effects of transgenic fructan-producing potatoes on the community structure of rhizosphere and phyllosphere bacteria. *FEMS Microbiology Ecology*, 2008, 66(2): 411-425.
- [24] Baumgarte S, Tebbe C C. Field studies on the environmental fate of the Cry1Ab Bt-toxin produced by transgenic maize (MON810) and its effect on bacterial communities in the maize rhizosphere. *Molecular Ecology*, 2005, 14(8): 2539-2551.
- [25] Oliveira A P, Pampulha M E, Bennett J P. A two-year field study with transgenic *Bacillus thuringiensis* maize: effects on soil microorganisms. *Science of the Total Environment*, 2008, 405(1/3): 351-357.
- [26] Houlden A, Timms-Wilson T M, Day M J, Bailey M J. Influence of plant developmental stage on microbial community structure and activity in the rhizosphere of three field crops. *FEMS Microbiology Ecology*, 2008, 65(2): 193-201.
- [27] George T S, Richardson A E, Li S S, Gregory P J, Daniell T J. Extracellular release of a heterologous phytase from roots of transgenic plants: does manipulation of rhizosphere biochemistry impact microbial community structure? *FEMS Microbiology Ecology*, 2009, 70(3): 433-445.

参考文献:

- [2] 贾士荣. 转基因作物的环境风险分析研究进展. *中国农业科学*, 2004, 37(2): 175-187.
- [3] 卢宝荣, 夏辉. 转基因植物的环境生物安全: 转基因逃逸及其潜在生态风险的研究和评价. *生命科学*, 2011, 23(2): 186-194.
- [4] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 李春俭, 陈新平. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略. *植物学通报*, 2007, 24(6): 687-694.
- [9] 马祥庆, 梁霞. 植物高效利用磷机制的研究进展. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 712-716.
- [11] 张晶, 张惠文, 李新宇, 苏振成, 张成刚. 土壤微生物生态过程与微生物功能基因多样性. *应用生态学报*, 2006, 17(6): 1129-1132.
- [14] 张燕燕, 曲来叶, 陈利顶. Biolog EcoPlate™ 实验信息提取方法改进. *微生物学通报*, 2009, 36(7): 1083-1091.
- [15] 陆英, 贺春萍, 吴伟怀, 范志伟. 转基因香蕉植株对根际土壤微生物的影响. *热带作物学报*, 2008, 29(1): 38-41.
- [16] 王忠华, 叶庆福, 舒庆尧, 崔海瑞, 夏英武, 周美园. 转基因植物根系分泌物对土壤微生态的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 373-375.
- [18] 汪海珍, 徐建民, 谢正苗. 转基因作物在土壤环境中的残留及其对土壤生物的影响. *土壤*, 2005, 37(4): 370-374.
- [19] 袁红旭, 张建中, 郭建夫, 许新萍, 李玥仁. 种植转双价抗真菌基因水稻对根际微生物群落及酶活性的影响. *土壤学报*, 2005, 42(1): 122-126.
- [20] 李本金, 李玥仁, 胡奇勇, 郑宇, 胡习斌. 抗真菌转基因水稻对根际土壤微生物群落的影响. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2006, 35(3): 319-323.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《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 32 卷 第 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

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:100071	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