

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **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 22 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 宫兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝桧柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病预防研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-11



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

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

成艳红, 陈小云, 刘满强, 胡锋, 李辉信. 土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理. 生态学报, 2011, 31 (22) : 6727-6733.

Cheng Y H, Chen X Y, Liu M Q, Hu F, Li H X. The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of *Arabidopsis thaliana* L. and the possible mechanisms. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (22) : 6727-6733.

土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理

成艳红^{1,2}, 陈小云¹, 刘满强¹, 胡 锋¹, 李辉信^{1,*}

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2. 江西省红壤研究所, 南昌 331717)

摘要:通过设置两种孔径(1 mm 和 5 μ m)的网袋(25 cm $\times$ 25 cm), 采用于土样中添加猪粪的处理, 获得有大量食细菌线虫富集(SM1)的, 和有少量食细菌线虫富集(SM5)的供试土壤(两者养分状况相近), 以研究食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响。结果表明, 在种植拟南芥 15d 后, 与有少量线虫富集的 PSM5 处理相比, 有大量线虫富集的 PSM1 处理拟南芥根系显著增长, 根的表面积显著增大, 根尖数显著增多。PSM1 处理在显著增加土壤中 NH_4^+ -N 的同时, 还使土壤中植物激素(GA_3 和 IAA)的含量显著增高。此外, 土壤微生物群落对单一碳源的利用能力(Biolog)的差异, 表明存在大量食细菌线虫的土壤, 微生物群落结构组成发生了变化。此结果说明, 土壤食细菌线虫对根系生长影响的效应, 除了养分效应外, 还存在激素效应, 与食细菌原生动物和植物根系生长之间的相互作用的机制相似。

关键词: 食细菌线虫; 拟南芥; 根系生长; 激素; Biolog

The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of *Arabidopsis thaliana* L. and the possible mechanisms

CHENG Yanhong^{1,2}, CHEN Xiaoyun¹, LIU Manqiang¹, HU Feng¹, LI Huixin^{1,*}

1 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China

2 Red Soil Institute of Jiangxi Province, Nanchang 331717, China

Abstract: Bacterial-feeding nematodes, one of the primary grazers of soil bacteria, affect root growth in several plant species. Most researches realized that the effects of bacterial-feeding nematodes on plant root growth resulted from direct or indirect nutrient effects (mainly nitrogen mineralization). Bacterial-feeding nematodes grazing on bacteria accelerate bacterial turnover and increase the turnover of soil organic matter, increased the nitrogen mineralization and improved the supply of inorganic nitrogen, and subsequently the plant growth was stimulated. Several researchers, however, have claimed that this process may not fully explain the mechanism of bacterial-feeding nematode stimulating plant growth. Considering the similarity of the physiology and zoology between bacterial-feeding nematodes and protozoa, and that the bacterial-feeding nematodes occur at equal or greater biomass in the rhizosphere than protozoa, it is believed that the activity of bacterial-feeding nematodes in the rhizosphere will also stimulate root proliferation by hormonal effects as seen for protozoan grazing.

To study the impacts and mechanisms of bacterial-feeding nematodes on the growth of plant, namely *Arabidopsis thaliana* L. (Ecotype columbia), a selected soil sample (sandy-loam alluvial soil) was mixed with pig manure and placed in mesh bags. In order to get greater populations of bacterial-feeding nematodes (SM1), the diameters of the openings were 1 mm and 5 μ m. Then the mesh bags were buried under the soil (SM5) which was surrounded with outer layer of un-amended soil for comparison and so as to determine the effects of bacterial-feeding nematodes on the root development of the plant

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30970537)

收稿日期: 2010-09-20; 修订日期: 2010-12-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huixinli@njau.edu.cn

seedlings. Nematodes were able to migrate through the 1 mm diameter mesh bag into the outer soil, thus giving greater populations than the soil surrounded by a control treatment with the mesh bag openings 5 μm in diameter, through which nematodes could not migrate.

After 35 days incubation, the outer soil contained a 4.1-fold increase of nematode numbers in the 1mm treatment compared to the 5 μm treatment. The root parameters (total length, average diameter, total surface area and number of tips) of the seedlings grown in the outer soil were measured after 15 days. Soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents were determined using a continuous flow auto-analyzer (AA3, Germany). Soil auxins were measured using high performance liquid chromatography (HPLC). Soil bacterial community structure was analyzed by a Community-level physiological profile (CLPP), using Biolog ECO microplates (Biolog, Hayward, CA, USA).

Results showed that the *Arabidopsis thaliana* seedlings grown in the soil with more bacterial-feeding nematodes (SM1) could develop a highly branched root system with longer roots and bigger surface area. Soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and auxin (GA_3 and IAA) contents were increased significantly in the presence of more nematodes. Furthermore, the potential for utilization of substrates of the Biolog system obtained by BIOLOG ecoplate assay indicated that the presence of nematodes made large differences in the catabolic capability of soil microbial communities. The mechanism was likely to include the nutritional effects and hormonal effects as well.

Key Words: bacterial-feeding nematodes; *Arabidopsis thaliana*; root growth; auxins; Biolog

食细菌线虫作为土壤中细菌的主要取食者之一^[1-2],其与微生物的相互作用及其对植物生长的影响引起了生态学家普遍的关注。一般认为,食细菌线虫可以促进植物生长是因为土壤食细菌线虫对细菌的大量取食加速或者促进细菌的活性,进而加速了土壤有机物的代谢和分解^[3-8],提高了土壤中植物有效养分的矿化率^[1],从而向土壤中释放大量的养分,促进了植物的生长^[1,9-10]。

然而,这种直接的营养效应或许并不是线虫促进植物生长的唯一的原因。Jentschke 等通过连续向砂培体系中加入过量的养分以消除养分对植物生长的影响,结果发现原生动物存在下,植物生物量提高了 50%—60%,并且植物形成了有更多分支的根系系统^[11]。Bonkowski 等人研究发现原生动物对植物根系生长产生促进作用的同时,改变了植物根际微生物群落结构,增加了土壤中产 IAA 细菌所占的比例,增加了土壤中激素吲哚乙酸 (IAA) 的含量^[11-14]。因此,Bonkowski 等人提出原生动物对植物生长的促进作用除了养分效应之外,还存在非养分作用。食细菌线虫的选择性取食也能够改变植物根际的微生物群落结构^[15],并且在根际其数量和原生动物相当,甚至超过原生动物^[16],因此,推测食细菌线虫对植物根系生长的促进作用也存在如原生动物对根系的增殖生长影响及机理。

本文即通过原位培养,获得土著食细菌线虫大量富集的土壤,短期种植拟南芥,研究土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响;通过土壤中赤霉素 (GA_3) 和吲哚乙酸 (IAA) 含量变化特征及土壤微生物群落结构的改变探讨食细菌线虫促进拟南芥根系生长可能存在的促进植物生长的激素效应。

1 材料与方法

1.1 试验材料

(1)土壤 供试土壤采自南京雨花台区板桥镇长江南岸冲积地的潮土(砂质壤土)。土壤取样深度为 0—20cm,鲜土采集后,剔除石块、大中型土壤动物及根茬等残体后过 2mm 筛备用。土壤有机碳含量为 10.87 g/kg,铵态氮含量为 2.15mg/kg,硝态氮含量为 28.03mg/kg 及 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 为 6.43。

(2)猪粪 晒干磨细过 2mm 筛,备用。

1.2 试验设计

1.2.1 原位富化土壤的获得

试验采用盆钵培养,首先将 400g 混合了 14g 基质(猪粪)的供试土壤装入 1 mm 或 5 μm 网袋内,再将装

好土壤的网袋放在盆钵中央,外层均匀装入 650g 供试土壤。土壤装盆后,调节土壤含水量到田间最大持水量的 60% (实际含水量为 23.4%),并于 22℃ 培养^[17]。对于 1 mm 网袋(SM1),加入基质后土壤中富化的线虫以及水溶态养分能够通过网袋迁移到外层土壤,而 5 μm 网袋(SM5)却阻止了线虫的迁移,但水溶态养分能够通过网袋扩散到外层土壤。通过培养,添加基质的 1 mm 网袋处理(SM1),就能够获得大量线虫富化的外层土壤。每周对添加基质的 SM1 和 SM5 处理破坏性采样 3 个盆钵,检测外层土壤线虫数量,直到线虫数量急剧增加后(本试验达到 SM5 处理土壤数量的 4 倍以上),开始盆栽试验。

表 1 获取富集线虫的试验处理

Table 1 The treatments for the enrichment of nematodes

处理编号 Codes of the treatments	内层 Inner	网袋 Mesh	外层 Outer
SM1	土壤+猪粪	1 mm	土壤
SM5	土壤+猪粪	5 μm	土壤)

1.2.2 拟南芥盆栽试验

原位培养 5 周后,收集外层土壤种植拟南芥,进行根系生长试验。随机采集两个处理各 3 个盆钵的外层土壤,进行线虫数量和土壤养分含量分析。同时将剩余的 SM1 和 SM5 外层土壤充分混合,分别称取 50g 土壤分装于塑料苗床,种植一棵预先发芽的拟南芥苗(*Arabidopsis thaliana* L. Ecotype columbia,种子在 4℃ 冰箱春化 2d 后于 25℃ 黑暗发芽 3d)。于 22℃ 下培养,控制 12h 的光照(200 mmol m⁻² s⁻¹),12h 的黑暗,并且每天加水保持含水量。于种植 15d 破坏性采样。

1.3 测定项目和方法

线虫分离采用浅盘法^[18],称取 50g 土样,室温下分离 48h 后,收集线虫悬液,对所有线虫在体视镜下进行计数。

土壤 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 用 2mol/L KCL 浸提(液土比 5:1;振荡 30min),浸提液用流动分析仪测定(AA3, Germany);土壤含水量测定用烘干法,105℃ 条件下烘 8h。激素测定参照本实验室建立的 HPLC 法^[19]。

土壤微生物群落功能多样性采用 Biolog ECO 微平板方法(Biolog, Hayward, CA, USA)。具体操作:称取 5.00g 新鲜土壤,加入到 45ml 灭菌 0.85% (g/mL) NaCl 溶液中,振荡 30 min 后取出静止 5min,吸取土壤上悬液,用灭菌 0.85% NaCl 溶液稀释至细菌密度为大约 10⁵ cfu/mL^[22],吸取稀释液接种到 ECO 板,每孔接种量 150 μL。接种后 ECO 板于 25 °C 培养,分别在 0、1、2、3、4、5d 和 6d 在 590 nm 测定吸光度(Optical density, OD)值。

每个处理选取 6 株拟南芥,采用根系扫描仪(LA1600+ scanner, Canada)进行根系形态扫描;采用根系分析软件(Winrhizo2003b, Canada)进行相关根系指标分析。

1.4 数据统计

Biolog 数据分析通过公式

$$A_{ik} = 1/2 \sum (t(j+1) - t(j)) \times (C_{ikt}(j+1) + C_{ikt}(j)) \quad (j = 1, 2, 3, 4, 5, 6)$$

式中, $t(j)$ 表示读盘测定时间,这里用天来计算,即总共测定到第 6 天, $C_{ikt}(j)$ 表示第 k 个盘的第 i 个碳源在测定时间 $t(j)$ 所读得的 OD 值,对每一个碳源,在整个测定时间内计算获得一个面积值,将 31 种碳源分为六大类进行主成分分析(PCA)^[21]。

数据统计采用 SPSS 统计软件。

2 结果与分析

2.1 原位富化过程中线虫数量变化特征

添加猪粪显著促进了线虫的繁殖($P < 0.002$),从 21d 开始,在 SM1 处理中外层线虫快速增加(表 2)。在培养结束时(培养 35d),SM1 处理的外层线虫数是 SM5 处理的 4.1 倍。

添加猪粪在促进线虫繁殖并向外层迁移的同时,还明显改变了外层线虫的营养功能类群的比例。培养结束时,SM1 处理外层土壤食细菌线虫的比例达 93.9%,并且主要是小杆属(*Rhabditis*)线虫的增加。

表 2 添加猪粪 1mm 和 5μm 网袋处理线虫数量(条/g 干土)动态变化
Table 2 Dynamic of nematode populations in outer soils amended with pig manure

处理 Treatments	培养时间 Incubation time/d				
	7	14	21	28	35
SM1 外层 outer	7.63±0.43	10.92±0.31	60.94±13.47	74.86±14.22	77.79±11.18
SM5 外层 outer	6.95±0.71	8.19±0.51	11.57±1.58	13.28±1.26	18.99±0.10

供试土壤起始线虫数为 2.38 线虫/g 干土

2.2 食细菌线虫对拟南芥根系形态的影响

结果显示:与 SM5 相比,SM1 显著增加了拟南芥根系的总长,根表面积及根尖数,但对根平均直径没有显著影响(图 1)。这说明食细菌线虫的大量存在可以促使拟南芥在短期内形成了更长且有更多分支的根系系统。

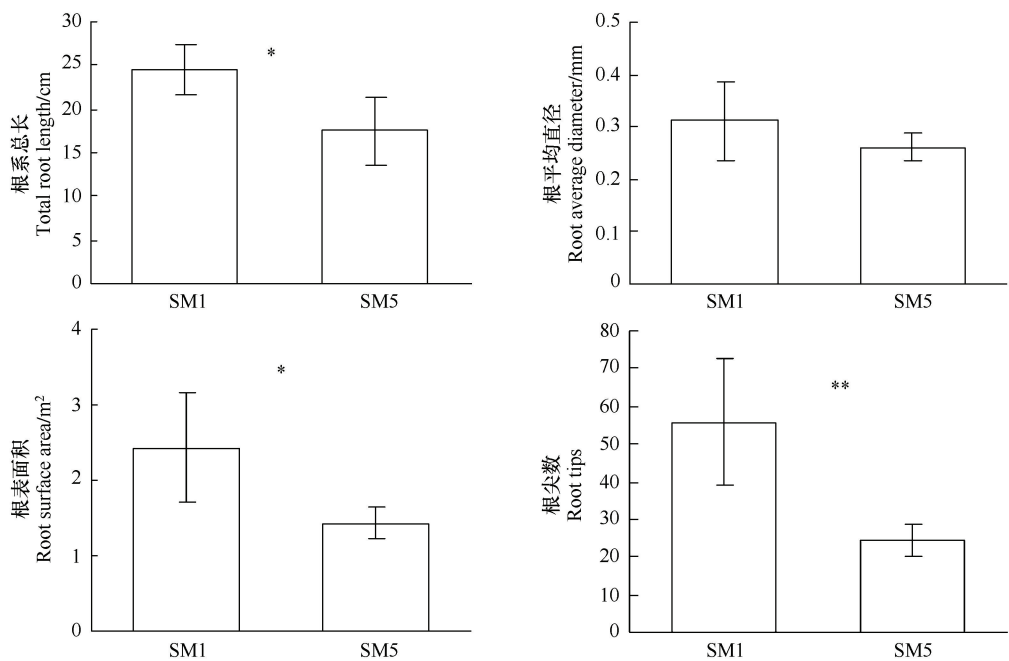


图 1 食细菌线虫对拟南芥根系形态的影响

Fig. 1 Effects of bacterial-feeding nematodes on root architecture of *Arabidopsis thaliana*
SM1 = 1mm 网袋; SM5 = 5μm 网袋; ** $P<0.01$, * $P<0.05$

2.3 各处理土壤无机氮, IAA 和 GA₃ 含量的变化特征

在富集结束时, SM1 处理外层土壤的铵态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)、硝态氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)及矿质氮的含量($\text{NH}_4^+\text{-N}+\text{NO}_3^-\text{-N}$)与 SM5 处理相比没有显著差异;到植物采集时,与 SM5 处理相比, SM1 处理显著增加了土壤矿质氮(MN)及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量,而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量没有显著变化。而无论是在富集结束时还是植物采集时, SM1 处理都显著增加了土壤中吲哚乙酸(Indole-3-acetic acid, IAA)和赤霉素(GA_3)的含量,在富集结束时和植物采集时分别比 SM5 处理提高了 52.22%, 72.04% 和 27.0%, 9.89% (表 3)。

2.4 土壤微生物群落碳源利用差异

采用碳源 OD 值曲线形成面积值进行主成分分析(PCA)来反映不同处理微生物群落在碳源利用上的整体差异及特定碳源对差异的贡献。由图 2b 可见,六大类碳源中, Carboxylic acids, Phenolic compounds 和

Polymers 与因子 1 的相关性强,而 Carbohydrates, Amino acids 和 Amines 与因子 2 的相关性强。根据不同处理的主成分分析负载图 2a,在富集结束时,SM1 在图中的位置表明其对所有碳源基质的利用都较低,而 SM5 位于因子 1 的负端体现为可以利用更多的 Carboxylic acids 和 Polymers。在植物采集时,PSM1 由因子 2 的负端向因子 2 的正端偏移,体现出对 Carbohydrates 利用的增多,这种偏移的原因可能与线虫及生长的拟南芥根系对微生物产生更大影响有关。而此时,PSM5 处理在图中的位置则表明其对所有碳源基质的利用都较低(图 2)。总体而言,处理 SM1 和 PSM1 的微生物群落对碳源类群的反应与处理 SM5 和 PSM5 比较发生变化,说明食细菌线虫的取食在一定程度上改变了土壤微生物的群落结构,而这种影响在植物根系参与下又发生了改变。

表 3 食细菌线虫对土壤无机氮, IAA 和 GA_3 含量的影响

Table 3 Effects of bacterial-feeding nematodes on soil inorganic nitrogen, IAA and GA_3 concentration Values are the mean $\pm$ standard error

土壤指标 Soil parameters	富集结束时		植物采集时	
	SM1	SM5	SM1	SM5
铵态氮 $NH_4^+-N/(\mu g/g)$	3.79 $\pm$ 0.32	3.40 $\pm$ 1.24	8.30 $\pm$ 0.42 *	3.48 $\pm$ 0.12
硝态氮 $NO_3^--N/(\mu g/g)$	51.64 $\pm$ 8.85	44.80 $\pm$ 6.71	77.54 $\pm$ 5.92	72.45 $\pm$ 4.99
矿质氮 Mineral Nitrogen/ $(\mu g/g)$	55.43 $\pm$ 7.21	48.20 $\pm$ 7.05	85.84 $\pm$ 3.03 *	75.93 $\pm$ 2.87
赤霉素 $GA_3/(\mu g/g)$	328.09 $\pm$ 46.18 *	190.70 $\pm$ 75.12	808.47 $\pm$ 77.13 *	735.74 $\pm$ 18.73
吲哚乙酸 IAA/ $(\mu g/g)$	4.11 $\pm$ 0.25 *	2.70 $\pm$ 1.10	4.52 $\pm$ 0.19 *	3.56 $\pm$ 0.29

同一行内 * 表示不同处理间有显著性差异 ($P<0.05$, $n=3$)

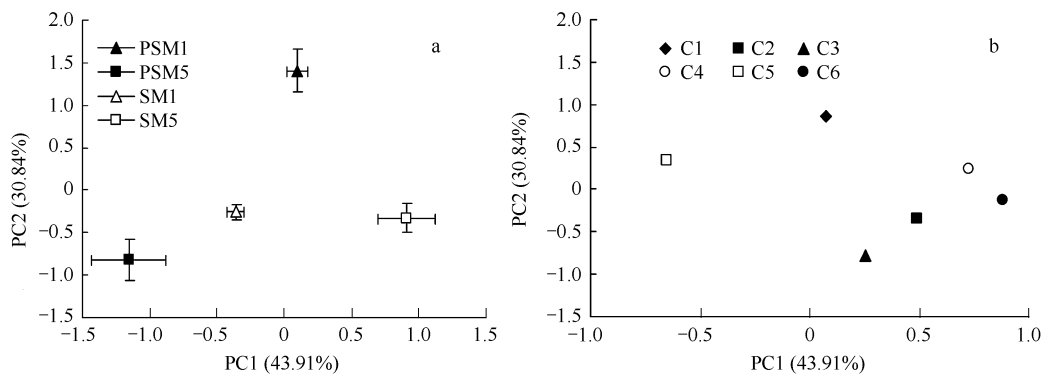


图 2 不同处理土壤微生物群落碳源利用主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis (PCA) on soil microbial community from different treatments

a: 不同土壤处理负载图; b: 不同碳源负载图; PSM1: 大量线虫富集土壤种植拟南芥 SM1 plant with arabidopsis; PSM5: 无线虫富集土壤种植拟南芥 SM5 plant with arabidopsis; C1 碳水化合物 Carbohydrates; C2 羧酸 Carboxylic acids; C3 胺类 Amines; C4 氨基酸 Amino acids; C5 酚酸类化合物 Phenolic compounds; C6 多聚物 Polymers

3 结论与讨论

1mm 网袋处理的外层土壤中食细菌线虫的显著增加主要源自内层增加的线虫向外层的迁移。线虫在土壤中迁移非常迅速,由于添加基质区域线虫大量繁殖,彼此对空间以及资源不断地竞争^[22],导致线虫大量向外迁移。5 μm 网袋处理可以限制线虫的迁移(线虫的幼虫大于 5 μm),但是养分却能够通过 5 μm 网袋扩散,由此就可以比较看出养分状况基本一致情况下线虫富集的作用。试验结果显示在原地培养结束时(35d) 1mm 和 5 μm 网袋处理之间线虫数量差异显著(表 2),而两处理间土壤矿质氮、 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 含量没有显著差异(表 3),说明 5 μm 网袋处理可以作为比较食细菌线虫富集对拟南芥根系生长作用的一个较为合适的对照处理。

与 SM5 处理相比,SM1 促进拟南芥根系发育成更长、表面积更大且有更多分支结构的根系系统,这与已有研究结果一致,食细菌线虫促进了番茄和小麦根系发育成了更长、有更多分支的根系系统^[23-24]。广泛分布

在土壤中的自由生活食细菌线虫通过取食微生物促进土壤中氮的矿化,为植物提供大量可利用的无机氮,并且主要以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的形式释放^[26],进而促进植物的生长。种植拟南芥 15d 后,SM1 处理土壤的矿质氮(MN)含量显著高于 SM5 处理土壤,且主要是由 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量的显著增加导致的,这与以往的研究结果一致。研究表明局部供应 NO_3^- 或者 NH_4^+ 能够诱导很多植物侧根的生长及伸长^[25-26]。

然而,无机养分并不是影响植物根系生长的唯一原因。Bonkowski 和 Brandt 报道:原生动物存在下不仅促进了土壤矿质氮的含量的增加,同时也提高了土壤中植物激素的含量,如吲哚乙酸(IAA),而且 IAA 并不是来源于原生动物(阿米巴)的代谢,而是因为原生动物的取食改变了微生物群落结构的组成及活性,尤其是增加了土壤中相关产 IAA 细菌的数量,导致土壤中 IAA 含量的增加,进而促进了根系形态的改变。因此,提出了原生动物对植物生长的促进还存在激素的作用^[11]。同原生动物一样,食细菌线虫的取食也能改变根际微生物群落结构的组成和多样性^[15-16]。本实验中两个处理土壤中微生物对 Biolog 六种碳源利用的差异(图 3)也表明大量食细菌线虫存在下改变了微生物的群落结构。实验中发现接种食细菌线虫后,促进了硝化细菌(铵氧化细菌和亚硝酸盐细菌)的数量^[4,27]。硝酸盐不仅是土壤 N 的来源,而且还是根系伸长的刺激物质^[28]。在一些高养分的区域,植物根系的局部分化生长是为了竞争局部分配的营养^[29]。实验中,土壤氮素是均匀分布的,试验结果(表 3)也显示在种植拟南芥前两处理(SM1、SM5)土壤中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量并没有显著差异,因此认为氮素并不是影响拟南芥根系生长的唯一原因^[25]。

食细菌线虫的大量取食导致土壤中微生物群落结构的发生一定改变(图 2),可能和原生动物一样增加了土壤中一些植物促生菌的数量^[16],进而促进了根系发育的改变。本实验中在富集结束时和植物采集时,与有少量线虫处理土壤(SM5 和 PSM5)相比,有大量线虫富集处理(SM1 和 PSM1)显著增加了土壤中 GA_3 和 IAA 的含量(表 3),且至今并没有研究表明线虫可以代谢分泌植物激素类物质。食细菌线虫对植物根系分支生长的这种促进作用可能也存在与原生动物相似的“激素效应”^[11]。但是,由于 BIOLOG 方法的局限性,食细菌线虫存在下微生物群落结构的改变是不是如原生动物一样促进了根际植物促生菌(plant growth-promoting rhizobacteria,PGPR)的生长或活性,进而导致土壤中植物激素含量的变化;植物根系内部又如何响应这种由食细菌线虫与微生物相互作用所引起的植物激素含量变化,还有待于进一步研究。

References:

- [1] Ingham R E, Anderson R V, Gould W D, Coleman, D C. Vertical distribution of nematodes in a short grass prairie. *Pedobiologia*, 1985b, 28: 155-160.
- [2] Liang W J, Zhang X K, Li Q, Jiang Y, Qu W, Neher D A. Vertical distribution of bacterivorous nematodes under different land uses. *Journal of Nematology*, 2005, 37: 254-258.
- [3] Griffiths B S. The role of bacterial-feeding nematodes and protozoa in rhizosphere nutrient cycling. *Aspects of Applied Biology*, 1989, 22: 141-145.
- [4] Li H X, Kazuyuki, I Johji, M. Effects of Temperature on Population Growth and N Mineralization of Soil Bacteria and a Bacterial-feeding Nematode. *Microbes and Environments*, 2001, 16 (3): 141-146.
- [5] Hu F, Wu S M. Research progress of biotic interactions and decomposer food web in soil ecosystem [A]. *Soil Resource*, 1992, 28-32 (in Chinese).
- [6] Griffiths B S. Microbial-feeding nematodes and protozoa in soil: Their effects on microbial activity and nitrogen mineralization in decomposition hotspots and the rhizosphere. *Plant and Soil*, 1994, 164: 25-33.
- [7] Ferris H, Venette R C, van der Meulen H R, Lau S S. Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes: verification and measurement. *Plant and Soil*, 1998, 203: 159-171.
- [8] Hu F, Li H X, Xie L Q, Wu S M. Interactions of bacterivorous nematode and bacteria and their effects on mineralization-immobilization of nitrogen and phosphorus. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19 (6): 914-920 (in Chinese).
- [9] Bonkowski M, Griffiths B S, Scrimgeour C. Substrate heterogeneity and microfauna in soil organic 'hotspots' as determinants of nitrogen capture and growth of rye-grass. *Applied Soil Ecology*, 2000, 14: 37-53.
- [10] Li H X, Hu F. Effect of bacterial-feeding nematode inoculation on wheat growth and N and P uptake. *Pedosphere*, 2001, 11 (1): 57-62.
- [11] Jentschke G, Bonkowski M, Godbold D L, Scheu S. Soil protozoa and forest tree growth: Non-nutritional effects and interaction with mycorrhizas.

- Biology and Fertility of Soils, 1995, 20: 263-269.
- [12] Bonkowski M, Brandt F. Do soil protozoa enhance plant growth by hormonal effects. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34: 1709-1715.
- [13] Kreuzer K, Adamczyk J, Iijima M, Wagner M, Scheu S, Bonkowski M. Grazing of a common species of soil protozoa (*Acanthamoeba castellanii*) affects rhizosphere bacterial community composition and root architecture of rice (*Oryza sativa* L.). *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 1665-1672.
- [14] Rosenberg K, Bertaux J, Krome K, Hartmann A, Scheu S, Bonkowski M. Soil amoebae rapidly change bacterial community composition in the rhizosphere of *Arabidopsis thaliana*. *The ISME Journal*, 2009, 3(6): 675-684.
- [15] Griffiths B S. A comparison of microbial-feeding nematodes and protozoa in the rhizosphere of different plants. *Biology and Fertility of Soils*, 1990, 9: 83-88.
- [16] Griffiths B S, Bonkowski M, Dobson G, Caul S. Changes in soil microbial community structure in the presence of microbial-feeding nematodes and protozoa. *Pedobiologia*, 1999, 43: 297-304.
- [17] Mao X F, Hu F, Chen X Y, Griffiths B S, Li H X. Soil bacterial-feeding nematode enrichment culturing *in situ*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 650-654 (in Chinese).
- [18] Goodfriend W L, Olsen W L, Frye R J. Soil microfloral and microfaunal response to *Salicornia bigelovii* planting density and soil residue amendment. *Plant and soil*, 2000, 223: 23-32.
- [19] Hu P, Liu D H, Hu F. Determination of plant growth hormones in earthworm casts by high performance liquid chromatography. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2001, 20(6): 8-10 (in Chinese).
- [20] Garland J L. Analysis and interpretation of community-level physiological profiles in microbial ecology. *FEMS Microbiology Ecology*, 1997, 24: 289-300.
- [21] Hackett C A, Griffiths B S. Statistical analysis of the time-course of Biolog substrate utilization. *Journal of Microbiological Methods*, 1997, 30: 63-69.
- [22] Griffiths B S, Caul S. Migration of bacterial-feeding nematodes, but not protozoa, to decomposing grass residues. *Soil Biology & Biochemistry*, 1993, 15: 201-207.
- [23] Ingham R E, Trofymow J A, Ingham E R, Coleman D C. Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs*, 1985, 55: 119-140.
- [24] Mao X F, Hu F, Griffiths B S, Li H X. Bacterial-feeding nematodes enhance root growth of tomato seedlings. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 1615-1622.
- [25] Zhang H, Forde B G. An *arabidopsis* MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture. *Science*, 1998, 279: 407-409.
- [26] Wang X B, Wu P, Hu B, Chen Q S. Effects of nitrate on the growth of lateral root and nitrogen absorption in rice. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(6): 678-683.
- [27] Xiao H F, Griffiths B S, Chen X Y, Liu M Q, Jiao J G, Hu F, Li H X. Influence of bacterial-feeding nematodes on nitrification and the ammonia-oxidizing bacteria (AOB) community composition. *Applied Soil Ecology*, 2010, 45: 131-137.
- [28] Zhang H, Forde B G. Regulation of *Arabidopsis* root development by nitrate availability. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51: 51-59.
- [29] Robinson D. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytologist*, 1994, 127: 635-674.

参考文献:

- [5] 胡锋, 吴珊眉. 土壤生态系统中生物的相互作用与碎屑食物网研究进展. 徐琪, 李永昌主编. 土壤·资源·生态·环境. 青岛海洋大学出版社, 青岛, 1992, 28-32.
- [8] 胡锋, 李辉信, 谢涟琪, 吴珊眉. 土壤食细菌线虫与细菌的相互作用及其对 N、P 矿化生物固定的影响及机理. *生态学报*, 1999, (6): 914-920.
- [17] 毛小芳, 胡锋, 陈小云, Griffiths Bryan, 李辉信. 土壤食细菌线虫的原位富集培养方法. *生态学报*, 2007, (2): 650-654.
- [19] 胡佩, 杨红, 刘德辉, 胡锋. 高效液相色谱法测定蚓粪中的植物激素. *分析试验室*, 2001, (6): 8-10.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	6645
Potential distribution of rice in china and its climate characteristics	6659
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	6669
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	6677
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	6688
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	6696
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	6708
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	6717
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	6727
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function	6734
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	6743
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	6753
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	6766
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	6777
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	6788
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	6796
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	6805
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone	6815
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	6824
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	6832
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	6845
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	6853
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	6866
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	6877
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	6886
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	6896
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	6902
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	6912
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	6926
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	6936
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	6947
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	6959
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	6967
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	6973
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	6978

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 22 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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