

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

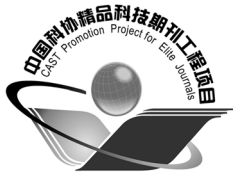


中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2015

第52卷 第3期

Vol.52 No.3



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

## 目 次

### 综述与评论

- 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究····· 蔡祖聪 张金波 黄新琦等 (469)
- 土壤裂隙及其优先流研究进展····· 张中彬 彭新华 (477)

### 研究论文

- 东北典型黑土区农耕土壤团聚体流失特征····· 温磊磊 郑粉莉 沈海鸥等 (489)
- 青藏高原永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图····· 陈吉科 赵玉国 赵 林等 (499)
- 贡嘎山海螺沟冰川退缩区土壤序列矿物组成变化····· 杨子江 邴海健 周 俊等 (507)
- 成都典型区水稻土有机碳组分构成及其影响因素研究····· 廖 丹 于东升 赵永存等 (517)
- 河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征····· 曹祥会 雷秋良 龙怀玉等 (528)
- 喀斯特小流域土壤饱和导水率垂直分布特征····· 付同刚 陈洪松 王克林 (538)
- 大沽河中游地区土壤水与浅层地下水转化关系研究····· 杨玉峥 林 青 王松禄等 (547)
- 化学转化法测定水体中硝酸盐的氮氧同位素比值····· 王 曦 曹亚澄 韩 勇等 (558)
- <sup>13</sup>C脉冲标记定量研究施氮量对光合碳在水稻-土壤系统中分布的影响 ···· 刘 萍 江春玉 李忠佩 (567)
- 垄作免耕对稻田垄埂土壤有机碳累积和作物产量的影响····· 慈 恩 王莲阁 丁长欢等 (576)
- 施入<sup>15</sup>N标记氮肥在长期不同培肥土壤的残留及其利用 ····· 赵 伟 梁 斌 周建斌 (587)
- 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响····· 鲁艳红 廖育林 周 兴等 (597)
- 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响····· 冀建华 侯红乾 刘益仁等 (607)
- 高粱分泌硝化抑制物对羟基苯丙酸与质子泵的关系研究····· 周金泉 张明超 魏志军等 (620)
- 钝化剂-锌肥降低烟草镉含量长期效果研究 ····· 曹晨亮 王 卫 马义兵等 (628)
- 钾肥和腐殖酸互作对烤烟有机钾盐指数的影响····· 郑东方 许嘉阳 许自成等 (637)
- 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响····· 张 凯 郑 华 陈法霖等 (646)
- 荒漠区生物土壤结皮对土壤酶活性的影响····· 杨航宇 刘艳梅 王廷璞 (654)
- 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响····· 矫丽娜 李志洪 殷程程等 (665)
- 链霉菌JD211对水稻幼苗促生作用及土壤细菌多样性的影响 ····· 王世强 魏赛金 杨陶陶等 (673)

### 研究简报

- 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价····· 贡 璐 张雪妮 冉启洋 (682)
- 铁膜对水稻根表面电化学性质和氮磷钾短期吸收的影响····· 郑芸芸 李忠意 李九玉等 (690)
- 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化····· 夏 昕 石 坤 黄欠如等 (697)
- 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征····· 王合云 李红丽 董 智等 (706)

### 信息

- 2015国际土壤年 ····· (696)

封面图片：稻田裂隙二维与三维图像（由张中彬提供）

DOI: 10.11766/trxb201403240124

# 链霉菌 JD211 对水稻幼苗促生作用及土壤细菌多样性的影响\*

王世强<sup>1</sup> 魏赛金<sup>1, 2†</sup> 杨陶陶<sup>1, 2</sup> 李庆蒙<sup>1</sup> 涂国全<sup>1</sup> 倪国荣<sup>2</sup> 潘晓华<sup>2</sup>

(1 江西农业大学生物科学与工程学院, 南昌 330045)

(2 江西农业大学双季稻现代化生产协同创新中心/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室

/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室, 南昌 330045)

**摘要** 以春光1号水稻为供试种子, 链霉菌JD211为供试菌, 通过浅盘试验研究链霉菌JD211对水稻生物量和土壤细菌多样性的影响。结果表明: 菌剂用量 $10\text{ g kg}^{-1}$ 对水稻幼苗的生长有极显著的促进作用, 幼苗总干重、地上部分干重、地下部分干重与对照相比分别提高52.15%、44.56%、65.55%, 植株全氮、全磷分别提高90.10%、58.51%。与CK土壤相比, 菌剂用量 $10\text{ g kg}^{-1}$ 的土壤速效氮、有效磷均有显著提高, 分别提高了37.49%、40.62%。细菌多样性的末端限制性片段长度多样性(T-RFLP)分析表明链霉菌JD211能促进一些稀有或生态势较弱的细菌生长, 使参与土壤营养循环、改善土壤质地及防治植物病害的功能菌成为优势菌群。土壤功能微生物类群的变化, 加速了N、P等土壤养分循环, 增强了水稻对N、P等矿质养分的吸收, 从而促进水稻生长。

**关键词** 链霉菌JD211; 秧苗生长; 功能细菌; 群落结构; 末端限制性片段长度多样性

**中图分类号** Q939.96 **文献标识码** A

对农业生产而言, 利用植物与微生物的互生作用, 可以促进作物生长, 有效提高抗病、耐逆等性能<sup>[1]</sup>。在分离到的互生微生物中, 35%左右具有抑制植物病原微生物生长, 促进植物生长的作用<sup>[2]</sup>。目前已发现可与高等植物发生互生作用的微生物主要集中在几个微生物类群中, 如在根瘤菌属(*Rhizobium*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、链霉菌属(*Streptomyces*)、白粉寄生菌属(*Ampelomyces*)、木霉属(*Trichodera*)等属中发现了可提高植物抗病性的种类<sup>[3]</sup>。其中生防放线菌对小麦、大麦、番茄、黄瓜等作物种子的萌发及幼苗生长有促进作用<sup>[4]</sup>。对于土壤微生物群落分析, 采用传统的微生物平板培养法只能培养和分离出一小部分土壤微生物群落<sup>[5]</sup>, 而利用PCR和土壤微生物末端限制性片段长度多态

性(T-RFLP)分析方法可以研究和表征那些现在还不能够被培养的土壤微生物, 从而获取关于土壤微生物群落多样性的更多信息<sup>[6]</sup>。Quaak和Kuiper<sup>[7]</sup>通过T-RFLP技术对荷兰森林地区的土壤微生物的状况进行了测试, 确定了模型, 成为一个检查土壤环境的有效手段。Dunbar等<sup>[8]</sup>同时利用分离培养物和直接从土壤中提取的16S rDNA基因的RFLP图谱分析了松树根圈土壤和树间的土壤微生物群落结构, 发现从土壤中直接提取的有498种系统型, 而在分离培养物中仅34种。

本课题组在寻找新型农用抗生素的过程中, 从珙桐植株中分离得到一株产灰褐色孢子的链霉菌, 命名为JD211, 对菌株JD211进行形态学、生理生化特征和分子生物学鉴定其为奈良链霉菌(*Streptomyces naraensis*)。该菌株所产的活性物质对水稻稻瘟病菌、纹枯病菌、烟草黑胫病菌等植

\*国家自然科学基金项目(30960011和31460469)资助

†通讯作者: 魏赛金, 教授, 博士, 主要从事农业生物技术研究。E-mail: weisaijin@126.com

作者简介: 王世强(1989—), 男, 硕士研究生, 主要从事微生物应用及作物生理生态研究。E-mail: wsq278tyyf@sina.com

收稿日期: 2014-03-24; 收到修改稿日期: 2014-06-06

物病原真菌有强烈的抑制作用<sup>[9]</sup>。本研究以链霉菌JD211固体菌剂为材料, 对对水稻生长的影响、植株及土壤矿质养分的测定, 土壤细菌多样性的T-RFLP分析等方面入手, 研究链霉菌JD211调控植物生长及对土壤功能细菌的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试菌株: 链霉菌JD211 (*Streptomyces* JD211), 为江西农业大学生物工程实训基地实验室从庐山植物园珙桐植株中分离得到的一株产灰褐色孢子的链霉菌。

供试土壤于2013年4月采集自江西农业大学试验田, 风干后过60目筛。其理化性状为有机质33.54 g kg<sup>-1</sup>、全氮17.88 g kg<sup>-1</sup>、铵态氮112.9 mg kg<sup>-1</sup>、有效磷21.8 mg kg<sup>-1</sup>、速效钾87.5 mg kg<sup>-1</sup>、pH 6.5。

固体培养基: 大米500 g, 葡萄糖5 g, 麸皮20 g。先将大米(不用淘洗)按常规方法蒸煮成饭, 用少许水溶解葡萄糖均匀拌在米饭中, 加入麸皮混匀轻搓, 分装, 每瓶250 g, 121℃高压灭菌1 h, 备用。

高氏一号培养基、PDA培养基制作参照文献[10]。

供试水稻种子: 春光1号, 购至江西省农业科学院水稻研究所(赣审稻2006055, 生产日期: 2012-07-21)。

### 1.2 试验方法

将链霉菌JD211移接至PDA培养基上, 28℃培养7 d, 即得灰褐色孢子。在固体培养基中接入斜面孢子悬液, 28℃静置培养7 d, 50℃烘干粉碎待用。采用活菌计数法计算菌剂中活菌含量为 $1.0 \times 10^6$  CFU g<sup>-1</sup>。将过20目土壤筛的细土装入育秧盘中, 每盘装土2 kg, 菌剂用量分别为0、1、5、10 g kg<sup>-1</sup>干土, 共4个处理, 每个处理重复3盘, 加水室温下孵育2 d, 待用。春光1号水稻种子用0.1% HgCl<sub>2</sub>消毒5 min用蒸馏水冲洗干净后加清水浸种24 h, 播种于各组土壤中, 每盘200粒。置于光照培养箱培养, 白天28℃全光照, 夜晚20℃无光照, 定时定量浇灌并记录生长状况, 测定各项生理指标。

### 1.3 样品采集与分析

**1.3.1 水稻农艺性状和生物量统计** 在水稻生长第10、15、20、25天时, 每个处理随机选取8株进行分析。地上部分和地下部分洗净吸水纸吸干

后, 60℃烘干12 h, 称量地上部分干重和地下部分干重; 茎宽为距离根部2 cm处的宽度; 总干重为100棵苗烘干后的质量, 株高为根茎部至生长点间的长度。

**1.3.2 链霉菌 JD211在水稻根系及根际土壤定殖能力测定** 水稻正常培育30 d, 取浅盘中根际周围距表面2 cm的土壤, 将土壤稀释液涂布于加有头孢500 μg ml<sup>-1</sup>和氯霉素50 μg ml<sup>-1</sup>的高氏一号培养基平板上, 测定JD211菌株数量, 计算每克根际土壤中含菌量。在水稻幼苗栽植后第30天时从浅盘中随机挖出8株, 须根处理方法参照文献[11], 加石英砂充分研磨, 稀释涂布平板, 28℃培养5 d。通过与同步培养平板上的JD211菌株进行形态比较鉴定后计数, 计算每克根中的链霉菌JD211菌数<sup>[12]</sup>。

**1.3.3 水稻植株和土壤矿质养分测定** 水稻正常培育30 d, 取各处理植株, 清洗后将地上茎叶与根系分开, 105℃杀青15 min, 80℃烘干至恒重。准确称取0.200 0 g样品, 浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮至澄清, 全氮采用凯氏定氮法<sup>[13]</sup>, 全磷采用钼锑抗比色法<sup>[14]</sup>。采用抖落法采集植株根区土壤, 风干混合充分后测定土壤理化性状。采用电位法测定土壤pH, 氯化钾浸提—靛酚蓝比色法测定土壤铵态氮<sup>[15]</sup>, 碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定土壤有效磷<sup>[14]</sup>。

**1.3.4 土壤微生物T-RFLP分析** 采用土壤基因组DNA提取试剂盒提取培养水稻30 d各处理土壤微生物DNA, 纯化后用于PCR扩增。用细菌通用引物27F: 5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3' (5'端用FAM标记) 和1492R: 5'-GGTTACCTTGTACGACTT-3'进行16S rDNA片段扩增。反应体系及组成参照文献[16]。PCR产物用1%琼脂糖凝胶电泳进行检测。用UNIQ-10柱式DNA胶回收试剂盒(上海生工)回收纯化DNA。分别用Hae III (Takara) 和Msp I (Takara) 进行酶切6 h, Hae III 酶切体系20 μl: 2 μl 10×M Buffer, 1 μl Hae III, 10 μl PCR产物, 7 μl ddH<sub>2</sub>O, 37℃水浴6 h; Msp I 酶切体系20 μl: 2 μl 10×T Buffer, 1 μl Msp I, 2 μl 0.1% BSA, 10 μl PCR产物, 5 μl ddH<sub>2</sub>O, 37℃水浴6 h。将酶切产物经过脱盐处理后, 与上样缓冲液和Standard Marker (GeneScan-500.1, Applied Biosystems) 混合, 96℃变性4 min, 迅速冰浴, 然后在ABI自动测序分析仪

(Model 3130 Applied Biosystems) 上进行毛细管电泳。

#### 1.4 数据统计分析

数据采用Excel 2010和DPS 7.05进行数据处理和显著性分析。分别提取接种量0、10 g kg<sup>-1</sup>处理的根际土壤微生物总DNA，经过细菌 16S rDNA 保守序列引物27F-FAM 和 1492R 扩增后，获得片段大小约为 1.5kb 的特异性扩增条带，扩增片段经切胶回收后分别用Hae III (Takara) 和 Msp I (Takara) 进行酶切，ABI 测序。采用 Gene Marker V1.2 软件对测序结果进行分析，得到不同内切酶酶切产生的 T-RFLP 图谱。

将细菌序列的长度与MiCA: Microbial Community Analysis III数据库 (<http://mica.ibest.uidaho.edu/pat.php>) 进行对比，找出T-RFs所对应的细菌类群。之后通过NCBI、Google Scholar、Springer 等数据库查找细菌类群的功能和应用，并按照大类进行分类。基于 T-RFLP 数据，采用香农指数 (Shannon index, *H*)、均匀度指数 (Evenness index, *E*)、伯杰·帕克指数 (Berger-Parker

index, *D*)、物种均一性指数 (McIntosh index, *U*)、索伦森相似性系数 (Sorensen similarity index) 评价不同处理土壤细菌的多样性、优势度和相似程度，并通过生态学软件 (biodap) 进行统计分析。以水稻鲜重为指标采用相关分析的方法，找出显著相关的菌种，在NCBI数据库进行Blast同源性比对，用MEGA4.1作系统发育图。

## 2 结 果

### 2.1 链霉菌JD211对水稻幼苗生长的影响

分析表1可知，生长20、25 d时菌剂用量为 10 g kg<sup>-1</sup>的促生效果最好，与对照相比，总干重、地上干重、地下干重，生长20 d时分别提高了69.60%、51.32%、116.72%，生长25 d时分别提高了52.15%、44.56%、65.55%。如图1所示，JD211对不同生长期水稻茎宽、株高、根长影响各有差异，随着时间推移添加JD211对水稻株高的影响效果趋于不显著，而JD211用量为10 g kg<sup>-1</sup>的处理对根长和茎宽的影响效果趋于显著水平。

表1 链霉菌JD211对水稻生物量的影响

Table 1 Effect of Streptomyces JD211 on biomass of rice seedlings

接种量 Inoculation rate (g kg <sup>-1</sup> )	时间 Time (d)	总干重 <sup>1)</sup>	地上干重 <sup>2)</sup> (g 100 plants <sup>-1</sup> )	地下干重 <sup>3)</sup>	接种量 Inoculation rate (g kg <sup>-1</sup> )	时间 Time (d)	总干重	地上干重 (g 100 plants <sup>-1</sup> )	地下干重
0	10	1.96	1.16	0.79	5	10	3.02	1.89	1.13
	15	2.69	1.72	0.97		15	3.90	2.60	1.30
	20	4.28	3.08	1.20		20	5.98	3.56	1.92
	25	5.38	3.43	1.95		25	6.62	4.10	2.53
1	10	2.59	1.61	0.98	10	10	2.55	1.54	1.02
	15	3.17	2.03	1.14		15	3.72	2.62	1.09
	20	5.55	3.45	2.11		20	7.26	4.67	2.59
	25	6.23	3.82	2.40		25	8.18	4.96	3.22

1) Total dry weight, 2) Shoot dry weight, 3) Root dry weight

### 2.2 定殖规律与水稻植株、土壤矿质养分分析

链霉菌JD211不能在水稻根系中定殖，但能在根际土壤中定殖。不同处理组定殖数量各有差异，接种量为1、5、10 g kg<sup>-1</sup>土壤中的链霉菌JD211分别为2 × 10<sup>5</sup>、1.45 × 10<sup>6</sup>、6.40 × 10<sup>7</sup> CFU g<sup>-1</sup>

土壤。水稻生长30 d，水稻植株及根际土壤分析土壤矿质养分的变化如表2。随着菌剂浓度的增加，水稻幼苗N、P含量呈上升趋势，接种量为10 g kg<sup>-1</sup>水稻植株矿质养分含量显著高于对照，与对照相比，植株全氮、全磷分别提高了90.10%、

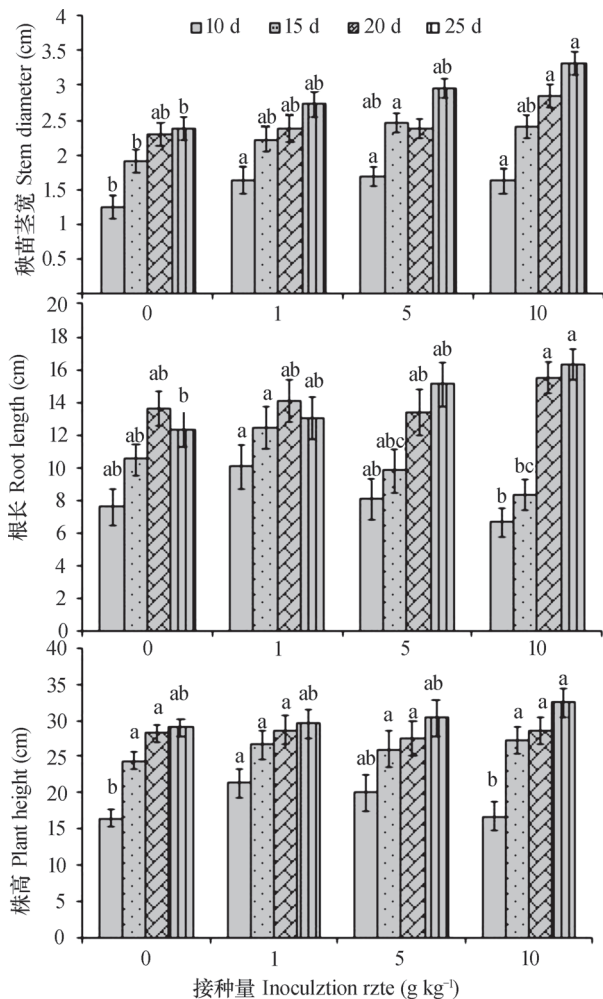


图1 链霉菌JD211对不同生长期水稻茎宽、株高及根长影响

Fig. 1 Graph of effects of *Streptomyces* JD211 on growth of rice in stem diameter, plant height and root length

58.51%，说明链霉菌JD211能够促进水稻对矿质养分的吸收与利用。接种量为10 g kg<sup>-1</sup>的土壤碱解氮、有效磷均有显著提高，分别提高了37.49%、40.62%。土壤pH略微降低。

### 2.3 土壤微生物T-RFLP分析

**2.3.1 T-RFLP 图谱分析** 采用 Gene Marker V1.2 软件对测序结果进行分析，得到不同内切酶酶切产生的 T-RFLP 图谱（图2），用2种限制性内切酶 Hae III、Msp I 酶切后，以 Hae III 酶切图谱为对象，接种量0、10 g kg<sup>-1</sup>处理的土壤样品分别检测到有效 T-RFs 为 11、27个，Hae III 酶切图谱中差异较大的有 63bp、200bp、218bp、260bp、290bp等T-RFs片段，可见不同处理土壤根际细菌群落结构差异显著。

### 2.3.2 根际土壤微生物群落结构多样性分析

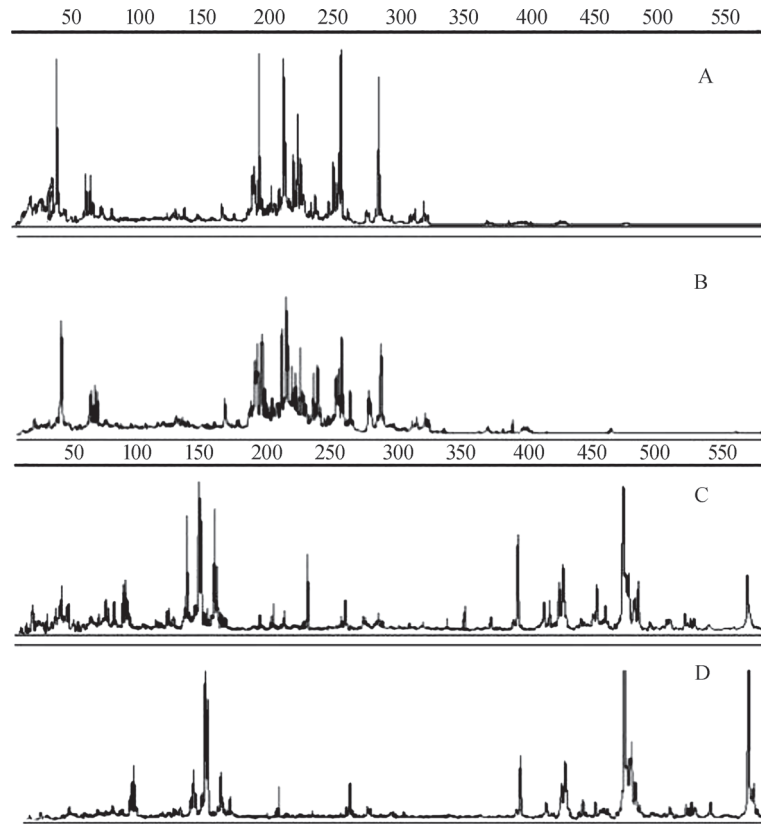
从表3可知，接种量0 g kg<sup>-1</sup>土壤中与水稻鲜重呈显著正相关的T-RF仅1个对应的Hae III酶切片段为219bp。接种量10 g kg<sup>-1</sup>土壤中与水稻鲜重呈显著正相关的T-RF有9个，分别对应的Hae III酶切片段为63bp、200bp、218bp、219bp、241bp、243bp、260bp、290bp、294bp。菌剂接种量10 g kg<sup>-1</sup>处理的香农-维纳多样性指数显著高于对照土壤。物种均匀性指数U是表征土壤微生物多样性的另一关键指标，与香农多样性指数变化趋势相同；从均匀度指数E看，加菌土壤与对照无显著差别，说明链霉菌JD211的加入并未打破原有微生物群落的生态平衡；伯杰·帕克指数D是优势度指数，优势度

表2 链霉菌JD211对水稻植株及土壤矿质养分的影响

Table 2 Effects of *Streptomyces* JD211 on rice plant nutrition and soil mineral nutrients

接种量 Inoculation rate (g kg <sup>-1</sup> )	水稻植株Rice plant		土壤Soil		
	全氮Total nitrogen (g kg <sup>-1</sup> )	全磷Total phosphorus (g kg <sup>-1</sup> )	铵态氮Ammonium nitrogen (mg kg <sup>-1</sup> )	有效磷Readily available phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )	pH
0	29.33 ± 0.95d	9.40 ± 0.32c	48.20 ± 1.79c	29.07 ± 1.11c	6.54 ± 0.03a
1	37.98 ± 0.95c	11.20 ± 0.32b	56.73 ± 1.38b	37.67 ± 0.70b	6.45 ± 0.02b
5	54.65 ± 1.53a	12.30 ± 0.39b	66.27 ± 0.84a	38.34 ± 0.57b	6.45 ± 0.01b
10	55.76 ± 1.32a	14.90 ± 0.82a	66.27 ± 1.07a	40.88 ± 0.50a	6.28 ± 0.02c

注：平均值 ± 标准误 (n=3)。同列数据后小写字母不同表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著 (p<0.05) Note: Means ± SE (n=3). The data in the same column following by the different lowercase letters indicated significant difference according to Duncan's new multiple range test (p<0.05)



注：A，Hae III 酶切图（接种量 $0 \text{ g kg}^{-1}$ ）；B，Hae III 酶切图（接种量 $10 \text{ g kg}^{-1}$ ）；C，Msp I 酶切图（接种量 $0 \text{ g kg}^{-1}$ ）；D，Msp I 酶切图（接种量 $10 \text{ g kg}^{-1}$ ）  
Note: A, Hae III restriction map (inoculum  $0 \text{ g kg}^{-1}$ ); B, Hae III restriction map (inoculum  $10 \text{ g kg}^{-1}$ ); C, Msp I restriction map (inoculum  $0 \text{ g kg}^{-1}$ ); D, Msp I restriction map (inoculum  $10 \text{ g kg}^{-1}$ )

图2 不同处理际土壤细菌群落酶切的T-RFLP分析图谱

Fig. 2 T-RFLP assay of soil bacterial communities in rhizosphere relative to treatments

表3 链霉菌JD211对水稻土壤微生物多样性及相似性影响

Table 3 Effect of Streptomyces JD211 on biodiversity and similarity of soil microbes in paddy field

接种量 Inoculation rate ( $\text{g kg}^{-1}$ )	片段总数 Total number of fragments	显著片段数 Significant number of fragments	香农指数 Shannon index ( $H$ )	均匀度指数 Evenness index ( $E$ )	物种均一性 指数McIntosh index ( $U$ )	伯杰·帕克指数 Berger-Parker index ( $D$ )	相似性指数 Sorenson similarity index
0	11	1	2.35b	0.98a	170.6b	0.16a	1
10	27	9	3.13a	0.95a	388.2a	0.12b	0.37

指数与多样性指数呈相反的变化趋势，说明链霉菌JD211能促进一些稀有或生态势较弱的细菌的生长。从相似性指数看，经过链霉菌JD211处理的土壤与CK差异很大，说明土壤细菌群落结构发生了显著变化。

如表4所示，将土壤细菌按照功能分为C循环、N循环、S循环、抗致病菌、营养代谢、有益菌和致病菌。施用链霉菌JD211对土壤细菌群落结

构影响显著，接种量 $10 \text{ g kg}^{-1}$ 各种功能菌之间所占比例适宜，土壤中各种功能微生物更为平衡。说明链霉菌JD211固体菌剂能够调整土壤微生物群落平衡，使土壤更加有利于水稻幼苗的生长。

**2.3.3 水稻生长正相关功能细菌系统发育树分析**  
接种量 $0 \text{ g kg}^{-1}$ 土壤中与水稻鲜重呈显著正相关的细菌种类有8种，按照功能分为4类：（1）碳素循环，主要包括一种未分离培养的杆菌属；（2）硫

表4 不同土壤功能细菌种类分析

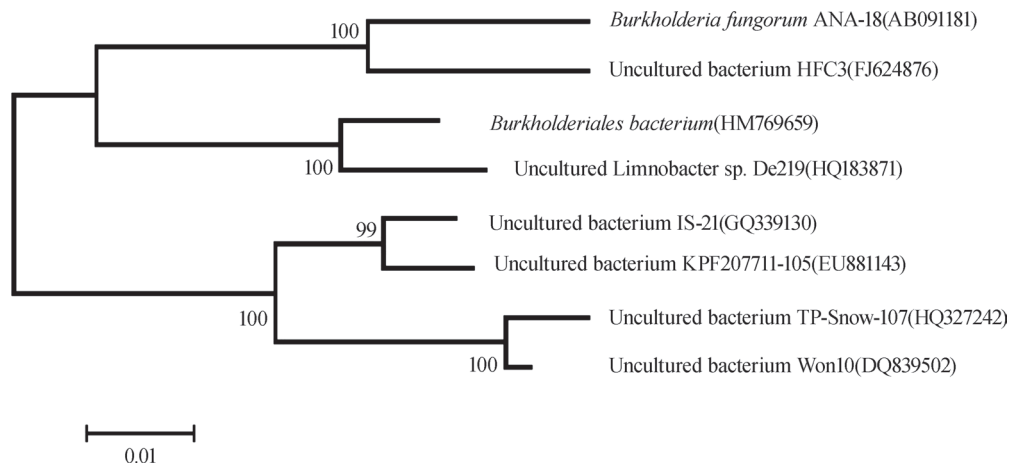
Table 4 Analysis of different functional bacterial species in soil

接种量 Inoculation rate (g kg <sup>-1</sup> )	未培养 Uncultured	C循环 C cycle	N循环 N cycle	S循环 S Cycle	抗致病菌 Anti- pathogen bacteria	营养代谢 Nutrition metabolism	有益菌 Beneficial bacteria	致病菌 Pathogenic bacteria	总菌种 数 Total number of bacteria
0	1 094	105	40	16	42	51	50	80	1 478
10	4 787	202	246	352	215	295	508	248	6 853

素循环, 主要包括一种未培养的伯克氏菌; (3) 有益菌, 为洋葱伯克霍尔德菌和功能菌; (4) 营养代谢, 能够降解多环芳烃的洋葱伯克霍尔德菌。这几种菌的系统发育树图如图3所示, 括号内为菌种在Genbank的登录号。

接种量10 g kg<sup>-1</sup>土壤中与水稻鲜重显著相关的细菌种类有601种, 图中仅列出部分。按照功能分为6类: (1) 碳素循环, 主要包括产碱杆菌属、甲

基杆菌属、念珠藻属、酸胞菌属等; (2) 硫素循环, 主要包括脱硫肠状菌属、黏土杆菌属; (3) 氮素循环, 主要包括蓝丝菌属、嗜热菌属、土芽孢杆菌; (4) 抗致病菌, 主要包括链霉菌属、短小芽孢杆菌属、贪噬菌属; (5) 营养代谢, 能够降解芳香化合物的鞘氨醇单胞菌属; (6) 致病菌, 主要包括无色杆菌属、分支杆菌属。这几种菌的系统发育树图如图4所示。

图3 接种量0 g kg<sup>-1</sup>土壤中与水稻鲜重呈正相关的微生物类群系统发育树Fig. 3 Phylogenetic tree of the microbial groups positively related to fresh weight of rice in the soil inoculated with 0 g kg<sup>-1</sup> inoculum

### 3 讨论

适宜浓度的链霉菌JD211显著提高了水稻秧苗的生理素质, 包括幼苗株高、假茎宽、根长、鲜重、干重等, 这与嵛嵘<sup>[17]</sup>研究5406放线菌对小麦幼苗的影响和张良等<sup>[18]</sup>研究长柄木霉和泾阳链霉菌复配对烟苗生长的影响结果相符。土壤的基本理化性质是影响土壤微生物变化的主要因素之一, 同时也是衡量土壤肥力的一个重要指标。土壤中速效氮、有效磷在一定程度上代表着土壤的潜在肥力, 它们是植株生长发育所必需的营养元素, 其缺乏或

不足均会影响植株正常的生长发育。实验结果表明, 随着JD211菌剂浓度的增加土壤速效氮、有效磷含量显著增加, 这在一定程度上改善了根际土壤环境, 增强了土壤的保肥能力和补给能力, 为根际微生物活动提供丰富营养, 促进植株的生长。

孙连鹏等<sup>[19]</sup>研究发现, T-RFLP技术是分析微生物群落多样性可靠有力的工具。通过对土壤细菌多样性的T-RFLP分析结果表明, 添加链霉菌JD211使一些占主导地位的优势菌群得到富集, 包括一些参与土壤营养循环、降解土壤化感物质、改善土壤质地和防治植物病害的有益菌。其中链霉菌



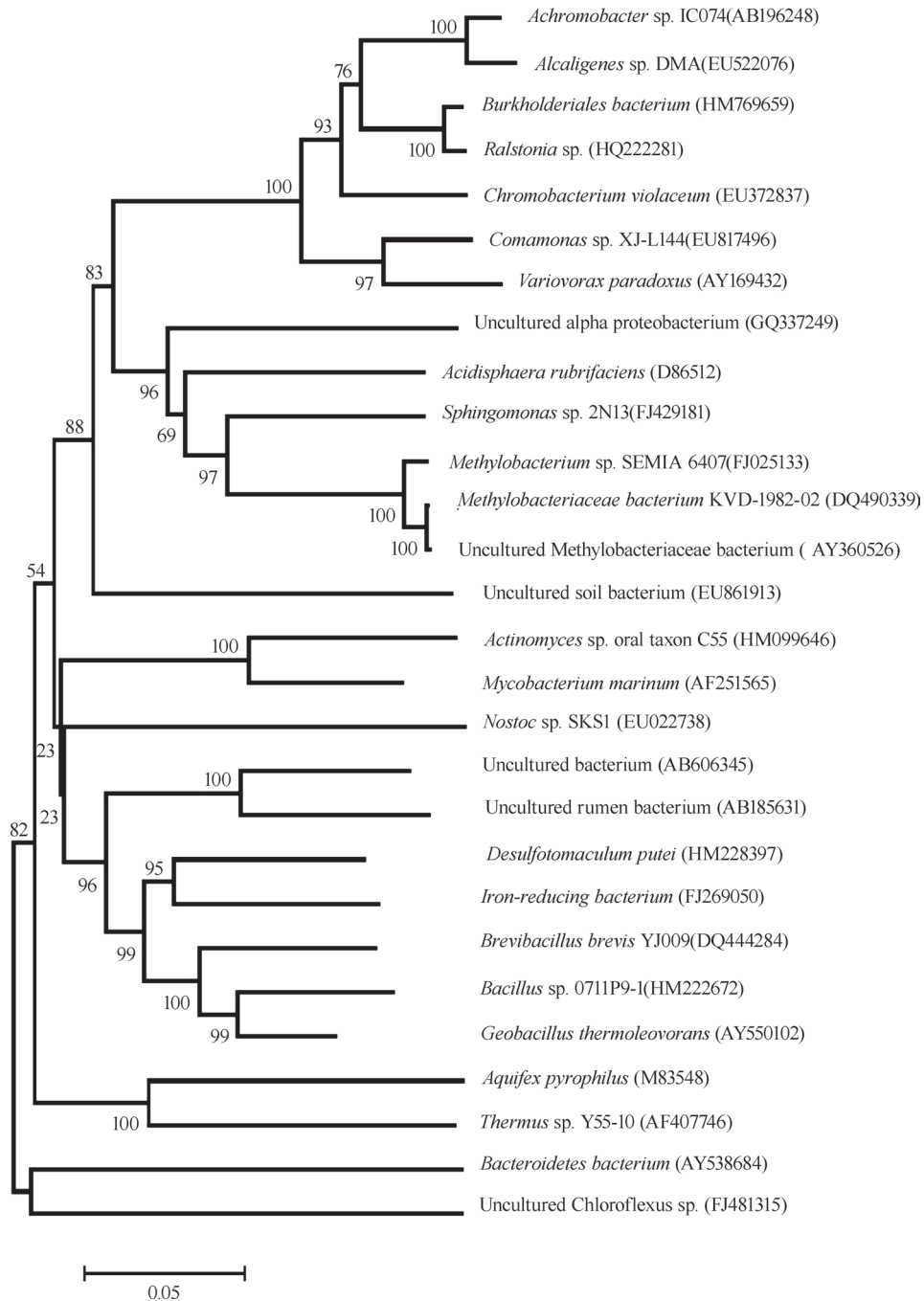


图4 接种量 $10 \text{ g kg}^{-1}$ 的土壤中与水稻鲜重呈正相关的微生物类群系统发育树

Fig. 4 Phylogenetic tree of the microbial groups positively related to fresh weight of rice in the soil inoculated with  $10 \text{ g kg}^{-1}$  inoculum

属是一类能够改善土壤质地，防治植物病害的有益功能菌；芽孢杆菌属的一个重要特性就是能够产生对不利条件具有特殊抵抗力的芽孢，其和类芽孢杆菌属均能够起到防止植物病害、提高植物抗性，促进植物生长的积极作用；枯草芽孢杆菌也是能够降解酚酸类物质的一类芽孢杆菌属，其在生长过程中能够产生枯草菌素、多黏菌素、制霉菌素、短杆菌肽等活性物质，对致病菌或内源性感染的条件致病

菌有明显的抑制作用；微杆菌属是一类能够降解酚酸类，降解农药、抗重金属和净化土壤的有益菌属，对环境起到良好的保护作用。添加链霉菌而不断减少的细菌以病原菌占大多数，主要以引起植物病害的支原体属为主，其广泛发生于世界各地，危害粮食、药材、蔬菜和水果等，同时还包括分枝杆菌属和脲原体属等有害菌。

链霉菌JD211通过抑制土壤病原微生物的数

量,促使生态势较弱的有益真菌、原生动物、芽孢杆菌属和链霉菌属等功能菌群的生长,使一些参与土壤营养循环、降解土壤化感物质、改善土壤质地及防治植物病害的功能菌迅速繁殖,不断积累成为优势菌群,它们之间互利协作,改善土壤肥力和补给能力,促进土壤养分的转化,从而促进水稻的生长。

## 4 结 论

综合水稻秧苗素质和 T-RFLP 分析结果,链霉菌JD211对水稻促生的机理如下:链霉菌JD211的施用使土壤微生物群落在不断的竞争中趋于一种动态平衡,调节了土壤微生态环境,促进土壤养分的转化,增强了水稻的养分吸收,从而促进水稻生长。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Morrissey J P, Dow J M, Mark L, et al. Are microbes at the root of a solution to world food production? *EMBO*, 2004, 5 ( 10 ): 922—926
- [ 2 ] Furnkranz M, Muller H, Berg G. Characterization of plant growth promoting bacteria from crops in Bolivia. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2009, 116 ( 4 ): 149—155
- [ 3 ] Berg G. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: Perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2009, 84 ( 1 ): 11—18
- [ 4 ] 郭小芳. 6株生防放线菌的生物学习性及防病抑菌作用研究. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2005: 3—10. Guo X F. Studies on biological characteristic and control effect of six strains of actinomycetes against target pathogens ( In Chinese ). Yangling, Shaanxi: Northwest Agriculture and Forestry University, 2005: 3—10
- [ 5 ] 钟文辉, 蔡祖聪. 土壤微生物多样性研究方法. *应用生态学报*, 2004, 15 ( 5 ): 899—904. Zhong W H, Cai Z C. Methods for studying soil microbial diversity ( In Chinese ). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 ( 5 ): 899—904
- [ 6 ] 沈菊培, 张丽梅, 郑袁明, 等. 土壤宏基因组学技术及其应用. *应用生态学报*, 2007, 18 ( 1 ): 212—218. Shen J P, Zhang L M, Zheng Y M, et al. Methodology and application of soil metagenomics ( In Chinese ). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 ( 1 ): 212—218
- [ 7 ] Quak F C, Kuiper I. Statistical data analysis of bacterial t-RFLP profiles in forensic soil comparisons. *Forensic Science International*, 2011, 210 ( 1/3 ): 96—101
- [ 8 ] Dunbar J, Ticknor L O, Kuske C R. Assessment of microbial diversity in four southwestern United States soils by 16S rRNA gene terminal restriction fragment analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000, 66 ( 7 ): 2943—2950
- [ 9 ] 李庆蒙, 王世强, 李昆太, 等. 拮抗放线菌JD211的抑菌活性及其鉴定. *生物灾害科学*, 2013, 36 ( 4 ): 394—398. Li Q M, Wang S Q, Li K T, et al. Identification of antagonistic actinomycetes strain JD211 and its antimicrobial activity ( In Chinese ). *Biological Disaster Science*, 2013, 36 ( 4 ): 394—398
- [ 10 ] 方中达. 植病研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1998. Fang Z D. *Plant pathology research methods* ( In Chinese ). Beijing: China Agriculture Press, 1998
- [ 11 ] 梁军锋, 薛泉宏, 牛小磊, 等. 7株放线菌在辣椒根部定殖及对辣椒叶片PAL与PPO活性的影响. *西北植物学报*, 2005, 25 ( 10 ): 2118—2123. Liang J F, Xue Q H, Niu X L, et al. Root colonization and effects of seven strains of actinomycetes on leaf PAL and PPO activities of capsicum ( In Chinese ). *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25 ( 10 ): 2118—2123
- [ 12 ] 颜霞, 朱铭莪, 夏育军, 等. 西藏亚高山草原土放线菌研究. *西北农业学报*, 1999, 8 ( 2 ): 97—101. Yan X, Zhu M E, Xia Y J, et al. The investigation of actinomycetes in the sub-alpine steppe soil of Tibet ( In Chinese ). *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 1999, 8 ( 2 ): 97—101
- [ 13 ] 何孙胃, 梁树章, 罗红辉. 全自动凯式定氮仪快速测定复混肥料总氮含量. *广东化工*, 2013, 40 ( 19 ): 142—143. He S W, Liang S Z, Luo H H. Automatic Kjeldahl analyzer rapidly determines fertilizer of total nitrogen ( In Chinese ). *Guangdong Chemical Industry*, 2013, 40 ( 19 ): 142—143
- [ 14 ] 李会娟. 2种植物磷含量的检测方法比较研究. *现代农业科技*, 2012 ( 11 ): 16—17. Li H J. Comparative study on determination of phosphorus content in two kinds of plants ( In Chinese ). *Modern Agricultural Science and Technology*, 2012 ( 11 ): 16—17
- [ 15 ] 赵洁, 王莉. 分光光度法快速测定硝、铵态氮的可行性研究. *现代农业科技*, 2011 ( 6 ): 42, 45. Zhao J, Wang L. Feasibility study on  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N determination by spectrophotometry method ( In Chinese ). *Modern Agricultural Sciences and*

- Technology, 2011 (6): 42, 45
- [16] 倪国荣. 不同土壤肥力及施肥制度下的双季稻田土壤微生物特征. 南昌: 江西农业大学, 2013. Ni G R. Characteristics of soil microbial under different fertility and fertilization systems of double cropping rice field (In Chinese). Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2013
- [17] 峥嵘. 5406放线菌对小麦幼苗的影响. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2006, 27(2): 150—154. Zheng R. The effect of 5406 actinomyces on the wheat seedling (In Chinese). Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2006, 27(2): 150—154
- [18] 张良, 刘好宝, 顾金刚, 等. 长柄木霉和泾阳链霉菌复配对烟苗生长及其抗病性的影响. 应用生态学报, 2013, 24(10): 2961—2969. Zhang L, Liu H B, Gu J G, et al. Effects of *Trichoderma longbrachitum* and *Streptomyces jingyangensis* combination on the growth and disease resistance of tobacco seedlings (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(10): 2961—2969
- [19] 孙连鹏, 崔语涵, 黄剑明, 等. 分子生物学技术在污泥微生物群落多样性研究中的应用——污泥微生物群落研究. 生物过程, 2012(2): 13—20. Sun L P, Cui Y H, Huang J M, et al. Application in activated sludge microbial community diversity used molecular biological technology—Study of sludge microbial community diversity (In Chinese). Bioprocess, 2012(2): 13—20

## EFFECT OF *STREPTOMYCES* JD211 PROMOTING GROWTH OF RICE SEEDLINGS AND DIVERSITY OF SOIL BACTERIA

Wang Shiqiang<sup>1</sup> Wei Saijin<sup>1, 2†</sup> Yang Taotao<sup>1, 2</sup> Li Qingmeng<sup>1</sup> Tu Guoquan<sup>1</sup> Ni Guorong<sup>2</sup> Pan Xiaohua<sup>2</sup>

(1 College of Biology Science and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

(2 Collaborative Innovation Center for the Modernization Production of Double Cropping Rice, Jiangxi Agricultural University, /Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education /Jiangxi Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Nanchang 330045, China)

**Abstract** To explore influence of soil microbes and their metabolites on crop growth, a platter cultivation experiment was carried out using Rice Spring No.1 to test *Streptomyces* JD211 for effect of the strain of bacteria on biomass of the seedlings and diversity of soil bacteria. Results show that the effect of the bacterial agent, 10 g kg<sup>-1</sup> in inoculation rate was extremely significant on rice seedlings, which were 52.15%, 44.56% and 65.56% higher than the seedlings in total dry weight, shoot dry weight, and root dry weight, respectively, and 90.10% and 58.51% higher in total nitrogen and total phosphorus, respectively. Compared with the soil in CK, the inoculated soil was 37.49% and 40.62% higher in available nitrogen and phosphorus. T-RFLP analysis of bacterial diversity shows that *Streptomyces* JD211 promoted the growth of some rare species of bacteria or species weak in ecological potential, thus turning some functional bacteria, which were involved in recycling of soil nutrients, ameliorating soil texture and controlling plant disease, into dominant ones. The changes in soil functional microflora accelerated recycling of soil N, P, etc. and enhance rice absorption of N, P and other mineral nutrients, thereby promoting growth of the rice.

**Key words** *Streptomyces* JD211; Seedling growth; Functional bacteria; Community structure; T-RFLP

(责任编辑: 卢萍)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Application of reductive soil disinfection to suppress soil-borne pathogens ..... Cai Zucong, Zhang Jinbo, Huang Xinqi, et al. ( 475 )  
 A review of researches on soil cracks and their impacts on preferential flow...Zhang Zhongbin, Peng Xinhua ( 488 )

**Research Articles**

- Characteristics of soil aggregate loss in croplands in the typical black soil region of Northeast China ..... Wen Leilei, Zheng Fenli, Shen Haiou, et al. ( 498 )  
 Construction of an index set for predicting thickness of active layer of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau and for mapping ..... Chen Jike, Zhao Yuguo, Zhao Lin, et al. ( 506 )  
 Variation of mineral composition along the soil chronosequence at the Hailuoguo Glacier foreland of Gongga Mountain ..... Yang Zijiang, Bing Haijian, Zhou Jun, et al. ( 515 )  
 Composition of organic carbon in paddy soil in typical area of Chengdu and its influencing factors ..... Liao Dan, Yu Dongsheng, ZhaoYongcun, et al. ( 526 )  
 Spatio-temporal variation of soil temperature and soil moisture regime in Hebei Province ..... Cao Xianghui, Lei Qiuliang, Long Huaiyu, et al. ( 536 )  
 Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity in a small karst catchment ..... Fu Tonggang, Chen Hongsong, Wang Kelin ( 546 )  
 Transformation between soil water and shallow groundwater in the middle reaches of the Dagu River ..... Yang Yuzheng, Lin Qing, Wang Songlu, et al. ( 556 )  
 Determination of nitrogen and oxygen isotope ratio of nitrate in water with a chemical conversion method ..... Wang Xi, Cao Yacheng, Han Yong, et al. ( 565 )  
 Quantitative research on effects of nitrogen application rate on distribution of photosynthetic carbon in rice-soil system using <sup>13</sup>C pulse labeling technique ..... Liu Ping, Jiang Chunyu, Li Zhongpei ( 574 )  
 Effects of no-tillage ridge-cultivation on soil organic carbon accumulation in ridges and crop yields in paddy fields ..... Ci En, Wang Liange, Ding Changhuan, et al. ( 585 )  
 Residual of applied <sup>15</sup>N fertilizer in soils under long-term different patterns of fertilization and its utilization ..... Zhao Wei, Liang Bin, Zhou Jianbin ( 595 )  
 Effect of long-term fertilization on rice yield and basic soil productivity in red paddy soil under double-rice system ..... Lu Yanhong, Liao Yulin, Zhou Xing, et al. ( 605 )  
 Effects of long-term fertilization on yield variation trend, yield stability and sustainability in the double cropping rice system ..... Ji Jianhua, Hou Hongqian, Liu Yiren, et al. ( 618 )  
 Relationship between exudation of nitrification inhibitor MHPP and plasma membrane proton pump of sorghum root ..... Zhou Jinquan, Zhang Mingchao, Wei Zhijun, et al. ( 527 )  
 Effects of long-term amendment with passivant and zinc fertilizer on cadmium reduction in tobacco growing in a Cd contaminated field ..... Cao Chenliang, Wang Wei, Ma Yibing, et al. ( 635 )  
 Effects of interaction between potassium and humic acid on index of organic potassium salt in flue-cured tobacco ..... Zheng Dongfang, Xu Jiayang, Xu Zicheng, et al. ( 645 )  
 Impacts of replacement of *Pinus* with *Eucalyptus* on soil nutrients and enzyme activities ..... Zhang Kai, Zheng Hua, Chen Falin, et al. ( 653 )  
 Effects of biological soil crusts on soil enzyme activities in desert areas ..... Yang Hangyu, Liu Yanmei, Wang Tingpu ( 663 )  
 Effect of incorporation of crop straw on composition of soil organic matter and enzyme activity in black soil relative to depth and rate of the incorporation ..... Jiao Lina, Li Zhihong, Yin Chengcheng, et al. ( 671 )  
 Effect of *Streptomyces* JD211 promoting growth of rice seedlings and diversity of soil bacteria ..... Wang Shiqiang, Wei Saijin, Yang Taotao, et al. ( 681 )

**Research Notes**

- Quality assessment of oasis soil in the upper reaches of Tarim River based on minimum data set ..... Gong Lu, Zhang Xueni, Ran Qiyang ( 689 )  
 Effect of iron plaque on surface electrochemical properties and short-term N, P and K uptake by rice roots .....Zheng Yunyun, Li Zhongyi, Li Jiuyu, et al. ( 695 )  
 The changes of microbial community structure in red paddy soil under long-term fertilization ..... Xia Xin, Shi Kun, Huang Qianru, et al. ( 705 )  
 Salinization characteristics of afforested coastal saline soil as affected by species of trees used in afforestation ..... Wang Heyun, Li Hongli, Dong Zhi, et al. ( 712 )

**Cover Picture:** Two dimensional and three dimensional images of soil cracks in paddy field ( by Zhang Zhongbin )

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 3 May, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

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

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

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

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

