

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会  
科学出版社

主办  
出版

2015

第 52 卷 第 4 期

Vol.52 No.4



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

## 目 次

### 综述与评论

亚硝酸盐型甲烷厌氧氧化微生物生态学研究进展····· 沈李东 (713)

### 土壤科学与现代农业

近30年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征····· 赵小敏 邵 华 石庆华等 (723)

北京市土壤重金属潜在风险预警管理研究····· 蒋红群 王彬武 刘晓娜等 (731)

秸秆深还对土壤团聚体中胡敏酸结构特征的影响····· 朱 姝 窦 森 陈丽珍 (747)

生物炭添加对酸化土壤中小白菜氮素利用的影响····· 俞映惊 薛利红 杨林章等 (759)

水肥对高产无性系油茶果实产量的影响····· 张文元 郭晓敏 涂淑萍等 (768)

### 研究论文

基于VRML的土壤电导率三维空间变异性虚拟现实建模研究····· 李洪义 顾呈剑 但承龙等 (776)

不同样点数量对土壤有机质空间变异表达的影响····· 海 南 赵永存 田 康等 (783)

基于稳定同位素的土壤水分运动特征····· 靳宇蓉 鲁克新 李 鹏等 (792)

中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究····· 吴良泉 武 良 崔振岭等 (802)

不同施肥方式下滩涂围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的分布····· 候晓静 杨劲松 王相平等 (818)

长期施肥对浙江稻田土壤团聚体及其有机碳分布的影响····· 毛霞丽 陆扣萍 何丽芝等 (828)

不同时期施用生物炭对稻田N<sub>2</sub>O和CH<sub>4</sub>排放的影响····· 李 露 周自强 潘晓健等 (839)

秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响····· 刘 园 M. Jamal Khan 靳海洋等 (849)

单一电解质体系下恒电荷土壤胶体扩散双电层中滑动层厚度的计算····· 丁武泉 朱启红 王 磊等 (859)

化工厂遗留地铬污染土壤化学淋洗修复研究····· 李世业 成杰民 (869)

离子型稀土矿尾砂地植被恢复障碍因子研究····· 刘文深 刘 畅 王志威等 (879)

辽东与山东半岛土壤中有机氯农药残留特征研究····· 朱英月 刘全永 李 贺等 (888)

长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性····· 高嵩涓 曹卫东 白金顺等 (902)

豆科间作对番茄产量、土壤养分及酶活性的影响····· 代会会 胡雪峰 曹明阳等 (911)

### 研究简报

蚕豆根系分泌物中氨基酸含量与枯萎病的关系····· 董 艳 董 坤 汤 利等 (919)

小麦与蚕豆间作对根际真菌代谢功能多样性的影响····· 胡国彬 董 坤 董 艳等 (926)

不同年限毛竹林土壤固氮菌群落结构和丰度的演变····· 何冬华 沈秋兰 徐秋芳等 (934)

长期不同施肥模式下砂姜黑土的固碳效应分析····· 李 玮 孔令聪 张存岭等 (943)

果园生草对<sup>15</sup>N利用及土壤累积的影响····· 彭 玲 文 昭 安 欣等 (950)

封面图片: 离子型稀土矿废弃地全景 (由汤叶涛、刘文深提供)

DOI: 10.11766/trxb201406260328

# 小麦与蚕豆间作对根际真菌代谢功能多样性的影响\*

胡国彬<sup>1</sup> 董坤<sup>2</sup> 董艳<sup>1†</sup> 汤利<sup>1</sup> 郑毅<sup>1, 3</sup> 李欣然<sup>1</sup>

(1 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

(2 云南农业大学食品科技学院, 昆明 650201)

(3 西南林业大学国家高原湿地中心, 昆明 650224)

**摘要** 通过田间小区试验, 采用Biolog FF微平板培养方法, 研究小麦与蚕豆间作对小麦和蚕豆根际真菌代谢功能多样性的影响。结果表明: 与单作相比, 间作明显提高了小麦和蚕豆根际真菌的碳源平均利用率(AWCD), 且间作提高蚕豆根际真菌活性的幅度大于小麦。与单作相比, 间作显著提高了蚕豆和小麦根际真菌对Biolog FF板中聚合物、糖类、羧酸类、氨基酸类和胺类碳源的利用; 同时间作使小麦和蚕豆根际真菌对碳源的总利用强度比单作分别显著提高63.30%和52.02%, 小麦和蚕豆根际真菌对Biolog FF板中6类碳源的利用强度百分比以糖类、羧酸类和氨基酸最高, 分别为36.66%~45.99%、25.65%~27.70%和16.37%~20.67%。小麦与蚕豆间作显著提高了小麦和蚕豆根际真菌的香农多样性指数(H)和丰富度指数(S)。主成分分析表明, 间作明显改变了小麦和蚕豆根际真菌的群落结构。小麦与间作蚕豆明显促进了小麦和蚕豆根际土壤真菌的碳源代谢强度, 显著提高了根际真菌的多样性和丰富度, 改变了根际真菌的群落结构, 因而是一种有利于改善蚕豆连作栽培根际微生态环境的有效措施。

**关键词** 小麦蚕豆间作; BiologFF板; 真菌代谢功能多样性

**中图分类号** S154.36 **文献标识码** A

现代农业追求大面积种植单一作物的做法降低了农田生态系统中的生物多样性, 导致系统稳定性和可持续性降低, 生产力水平持续提高与资源环境的矛盾难以调和<sup>[1]</sup>。间套作作为我国传统农业的精髓, 是增加农田生物多样性的有效措施, 可大幅度提高农田生态系统生产力<sup>[2-3]</sup>。豆科禾本科间套作能充分利用豆科作物的共生固氮作用, 是形成豆科禾本科间套作优势的主要因素之一。现在全国100多种间作体系的组合中, 70%的组合均有豆科作物参与, 其中小麦与蚕豆间作体系在中国西部地区被农民广为接受<sup>[4]</sup>。

蚕豆是世界上重要的豆科作物, 因具粮食、蔬菜、饲料和绿肥兼用等特点, 且适应性广而具有较高的固氮量, 在世界范围内种植的国家超过70

个, 种植面积高达 $2.6 \times 10^6 \text{hm}^2$ 。中国的蚕豆种植面积和产量居世界首位<sup>[5]</sup>。蚕豆是典型的忌连作作物, 近年来随着蚕豆生产的不断发展, 加之种植习惯和环境条件等原因, 主产区的连作障碍非常普遍且日益严重, 多年连作导致病害尤其是土传病害严重发生<sup>[6]</sup>。连作土传病害已成为制约我国蚕豆生产的重要因素, 其中枯萎病是蚕豆连作障碍的主要病害之一。尽管引起连作障碍的原因较多, 但主要原因来自土壤, 如土壤理化性状变劣导致养分亏缺, 但最根本的原因还是土壤微生物区系和多样性失调, 最终导致土壤中病原菌激增而引发土传病害<sup>[7]</sup>。

农田生态系统中土壤微生物多样性是物质和能量转化、循环、利用的基础, 是生态系统稳定性和

\* 国家自然科学基金项目(31360507, 31460551, 31060277)资助

† 通讯作者, E-mail: dongyanx@163.com

作者简介: 胡国彬(1988—), 男, 江西九江人, 硕士研究生, 主要从事间作系统根际微生物多样性方面的研究。E-mail: gbhu08062113@163.com

收稿日期: 2014-06-26; 收到修改稿日期: 2014-10-28

可持续性的保障。微生物群落结构或微生物多样性与土壤可持续利用密切相关,可作为生物指标指示土壤质量、评价土壤肥力<sup>[8]</sup>。近年来,研究者采用不同方法对土壤微生物多样性进行的研究已越来越多。Biolog微平板技术操作简单,获得数据量丰富,能反映微生物种群的总体活性,是研究土壤微生物多样性的主流方法之一<sup>[9]</sup>。

本课题组的前期研究表明,小麦与蚕豆间作具有明显的产量优势并显著控制了土传病害的发生<sup>[10]</sup>。且通过稀释平板培养的研究表明,小麦与蚕豆间作增加了根际微生物的数量<sup>[11]</sup>,但有关该间作体系中真菌代谢功能多样性的研究尚少有涉及。本研究通过田间试验,采用Biolog FF板培养方法研究了小麦蚕豆间作体系的根际真菌群落结构变化,为进一步阐明小麦蚕豆间作控病增产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验在云南省安宁市禄脰镇上村进行。土壤为红壤,有机质含量 $23.2 \text{ g kg}^{-1}$ ,全氮 $1.90 \text{ g kg}^{-1}$ ,碱解氮 $119.0 \text{ mg kg}^{-1}$ ,有效磷 $56.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,速效磷 $123.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ,pH6.4。供试蚕豆品种为凤豆6号,小麦品种为云麦42。

### 1.2 田间试验设计

试验采用单因素随机区组设计,设小麦单作(MW)、蚕豆单作(MB)和小麦与蚕豆间作(间作小麦IW,间作蚕豆IB)3种植模式,每个处理重复3次,随机区组排列,共9个小区。

试验于2011年10月同时播种小麦和蚕豆,2012年4月收获。小麦条播,行距0.2m;蚕豆点播,行距0.3m,株距0.15m。间作小区按6行小麦2行蚕豆的方式种植。供试肥料为尿素、普通过磷酸钙和硫酸钾,小麦氮肥施用量为 $225.0 \text{ kg hm}^{-2}$ (以N计),磷肥施用量为 $112.5 \text{ kg hm}^{-2}$ (以 $\text{P}_2\text{O}_5$ 计),钾肥施用量为 $112.5 \text{ kg hm}^{-2}$ (以 $\text{K}_2\text{O}$ 计),不施有机肥。蚕豆氮肥用量为小麦的1/2,即 $112.5 \text{ kg hm}^{-2}$ ,磷钾肥用量与小麦相同。蚕豆氮肥、磷肥和钾肥全部作为基肥一次性施入;小麦氮肥50%作为基肥,另外50%作为追肥,分两次施入,磷肥和钾肥全部作为基肥一次性施入。

于蚕豆开花期(小麦抽穗扬花期)进行采样,具体采样方法为先将植株根系从土壤中整体挖出,

采用抖土法抖掉与根系松散结合的土体土,然后将与根系紧密结合的土壤刷下来作为根际土。蚕豆单作处理中,每个小区对角线5点取样,每点采蚕豆2株,然后将10株蚕豆的根际土壤混合为1个样品;单作小麦的取样为每个小区对角线5点取样,每点采30 cm长的小麦植株,然后将5点采样的小麦根际土壤混合为1个样品。间作处理中,每个小区选2个间作带,每个间作带内采蚕豆5株,将2个间作带取得的10株蚕豆根际土壤混合为1个样品。然后在两个间作带分别采与已采样蚕豆相邻的小麦植株30 cm及其对应的根际土壤,将2个间作带所采小麦根际土混合为1个样品。

田间取得的根际土立即放入冰盒中保存,将冷藏保存的土样带回实验室后一周内完成分析。

### 1.3 土壤真菌群落功能多样性分析

土壤真菌代谢功能多样性采用Biolog FF板(FF MicroPlate,美国Biolog公司生产)进行。称取相当于5g烘干土重的新鲜土样加入45 ml无菌的0.85%的NaCl溶液中,在摇床上振荡30min,将土壤样品稀释至 $10^{-3}$ ,吸取150  $\mu\text{l}$ 稀释液至FF板的微孔中。将接种好的测试板加盖置于25℃下培养,每隔24h在BiologEmaxTM自动读盘机上用Biolog Reader4.2软件(Biolog, Hayward, CA, USA)读取490nm波长的光密度值,培养时间为168h。

Biolog FF微平板中具有95种碳源,根据碳源功能团将这95种碳源分为6类来反映真菌群落利用各类碳源的特征,其具体分类为糖类32种,氨基酸类13种,羧酸类17种,多聚物类6种,其他类9种,胺类化合物6种<sup>[12-13]</sup>。

### 1.4 数据统计分析

采用培养96 h的数据计算单孔平均颜色变化率(Average well color development, AWCD)、香农多样性指数(H)、丰富度指数(S)和主成分(PCA)分析。

$\text{AWCD} = \sum (C_i - R) / 95$ ,式中, $C_i$ 为各反应孔在490 nm下的光密度值, $R$ 为ECO板对照孔A1的光密度值, $C_i - R$ 小于0的孔在计算中均记为零,即 $C_i - R$ 的值均大于等于0。

$H = -\sum P_i \times \ln P_i$ ,式中, $P_i = (C_i - R) / \sum (C_i - R)$ 。

丰富度指数(S)用碳源代谢孔的数目表示群落丰富度指数。

选取96 h的平均颜色变化率(AWCD)对真菌

碳源利用进行主成分分析。

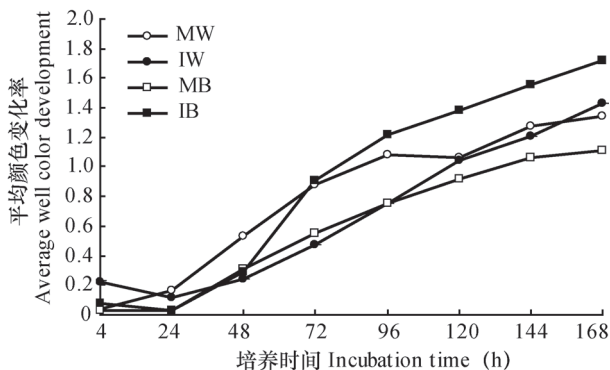
数据采用Microsoft Excel 2007进行处理,采用SAS8.0软件进行方差分析和主成分分析。

## 2 结果

### 2.1 间作对小麦、蚕豆根际真菌平均颜色变化率(AWCD)和碳源利用强度的影响

Biolog微生物自动分析系统广泛用于土壤与环境样品中微生物群落功能多样性的分析, Biolog FF微孔板中有95种培养基<sup>[13]</sup>。平均颜色变化率(AWCD)表征微生物群落碳源利用率,是土壤微生物群落利用单一碳源能力的一个重要指标,其随时间的变化是微生物碳源利用强度的反映,因此AWCD值可以表征土壤微生物的活性<sup>[14]</sup>。微孔板连续培养7d,每隔24h测得的AWCD值变化如图1。

AWCD随培养时间延长而提高,各处理的AWCD值在24h之前很小,表明在24h内碳源基本未被利用;培养24h后AWCD快速升高,反映培养24h后Biolog FF板中碳源被根际真菌大幅度利用(图1)。



注: MW, 单作小麦; IW, 间作小麦; MB, 单作蚕豆; IB, 间作蚕豆。下同 Note: MW, Monocropped wheat; IW, Intercropped wheat; MB, Monocropped faba bean; IB, Intercropped faba bean

图1 单间作条件下小麦和蚕豆根际真菌的平均颜色变化率  
Fig. 1 Average well color development (AWCD) of the rhizosphere fungi under wheat and faba bean in monocropping and intercropping systems

单作条件下,以蚕豆根际真菌的活性最低,小麦根际的真菌活性略高于蚕豆(图1)。间作种植对小麦和蚕豆根际真菌活性均产生了影响,表现为间作明显提高了小麦和蚕豆根际的真菌活性,且以间作蚕豆根际真菌的活性最高,表明间作对蚕豆根

际真菌活性的影响大于对小麦的影响。

从图2A可看出,间作显著影响了小麦和蚕豆根际真菌对Biolog FF板中碳源的总利用强度( $p < 0.01$ )。与单作相比,间作使蚕豆根际真菌对FF板中碳源的总利用强度显著提高63.30%,使小麦根际真菌对FF板中碳源的总利用强度显著提高52.02%。

小麦和蚕豆根际真菌对FF板中各类碳源利用强度最高的是糖类,占碳源总利用强度的36.66%~45.99%(图2B),其次为羧酸类碳源,占碳源总利用强度的25.65%~27.70%,氨基酸类碳源的利用强度略低于羧酸类,占碳源总利用强度的16.37%~20.67%;而小麦和蚕豆根际真菌对聚合物、胺类和其他类碳源的利用强度较低,分别占碳源总利用强度的5.11%~8.19%、2.90%~4.71%和3.51%~6.02%。

### 2.2 间作系统小麦和蚕豆根际真菌对不同类型碳源利用的影响

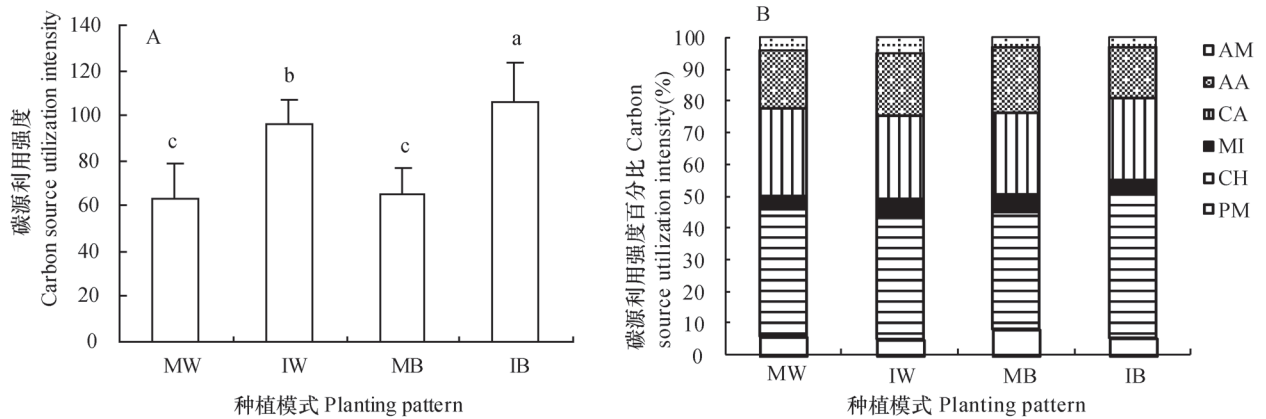
间作对Biolog FF板中每一类碳源的利用均有显著影响(图3)。与单作小麦相比,间作显著提高了小麦根际真菌对Biolog FF板中6类碳源的利用,间作小麦真菌对FF板中聚合物、糖类、其他类、羧酸类、氨基酸类和胺类碳源的利用率分别较单作提高34.45%、44.48%、135.38%、42.12%、65.05%和80.63%。

与单作蚕豆相比,间作使蚕豆根际真菌对聚合物、糖类、羧酸类、氨基酸类和胺类碳源的平均利用率分别显著增加11.14%、104.90%、61.90%、29.35%和51.22%,以对糖类碳源利用的增加程度最大,而间作对蚕豆根际真菌利用其他类(MI)碳源无显著影响。

### 2.3 小麦与蚕豆间作对根际真菌多样性指数的影响

香农多样性指数可以从不同侧面反映土壤微生物群落功能多样性,是目前应用最广泛的群落多样性指数之一<sup>[15]</sup>。间作对小麦和蚕豆根际真菌香农多样性指数和丰富度指数的影响见表1。

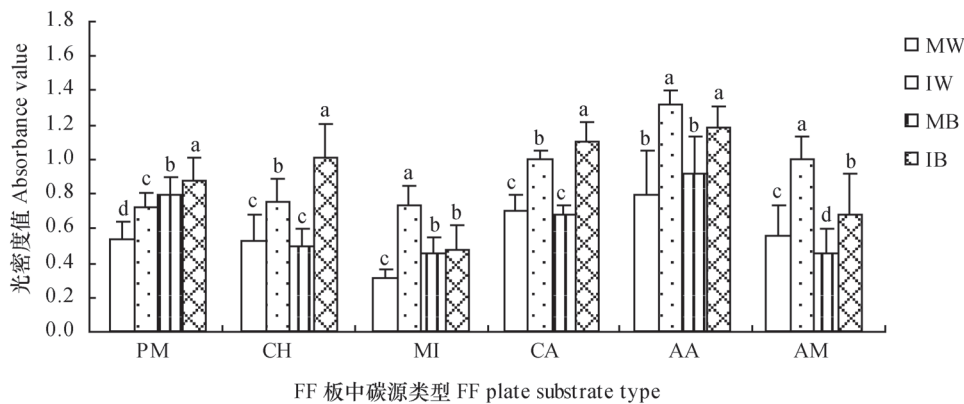
从表1可看出,间作显著提高了小麦和蚕豆根际真菌的香农多样性指数( $p < 0.05$ )和丰富度指数( $p < 0.01$ )。与单作相比,间作使小麦根际真菌的H和S分别提高2.09%和16.45%,使蚕豆根际真菌的H和S分别提高2.61%和11.72%。



注：PM：聚合物；CH：糖类；MI：其他类；CA：羧酸类；AA：氨基酸类；AM：胺类 Amines/amides Note：PM：Polymers；CH：Carbohydrates；MI：Miscellaneous；CA：Carboxylic acids；AA：Amino acids；AM：Amines/amides

图2 小麦与蚕豆间作条件下根际真菌对Biolog FF板中六类碳源的利用强度 (A) 及百分比 (B)

Fig. 2 Utilization intensities (A) and contributions (%) (B) of the six categories of carbon sources by and to rhizosphere fungi under intercropped wheat and faba bean



注：图中不同字母分别表示相同碳源模式下不同处理间0.05 水平下的差异显著性 Note：Different letters on top of the bars mean significant difference between treatments with the same carbon source at the 5% level

图3 间作对小麦和蚕豆根际真菌利用Biolog FF 板中六类碳源的影响

Fig. 3 Effect of intercropping on utilization of the six categories of carbon sources by rhizospheric fungi

表1 间作对小麦和蚕豆根际真菌香农多样性指数和丰富度指数的影响

Table 1 Effect of the intercropping on shannon diversity index and richness index of the rhizosphere fungi under wheat and faba bean

种植模式 Plant pattern	香农多样性指数 Shannon diversity index ( <i>H</i> )	丰富度指数 Richness index ( <i>S</i> )
MW	4.26 ± 0.11b	77.00 ± 0.00b
IW	4.34 ± 0.05a	89.67 ± 2.31a
MB	4.24 ± 0.24ab	79.67 ± 3.79b
IB	4.35 ± 0.05a	89.00 ± 4.36a

注：平均值 ± 标准偏差，*n* = 3。同列不同字母表示0.05水平下的差异显著性 (*p* < 0.05) Note：Means ± SD, *n* = 3. Different letters in the same column means significant difference at 0.05 level

## 2.4 小麦与蚕豆间作对根际真菌群落结构的影响

利用培养96h的数据进行真菌群落功能的主成分分析 (Principal component analysis, PCA)。95个主成分因子中前11个累积方差贡献率达100%，从95个变量中提取2个主成分因子，其中第1主成分 (PC1) 的方差贡献率为42.45%，第2主成分 (PC2) 为24.51%，第3至第11主成分贡献率逐渐较小，为0.01%~15%。前2个主成分累积方差贡献率达到66.96%，可认为前2个主成分能够表征原来95个变量的特征。因此，取前2个主成分 (PC1和PC2) 得分作图来表征真菌群落碳源代谢特征 (图4)。从图4可看出，小麦单间作处理在PC1上有很好的分离，而单间作蚕豆在PC1和PC2上均有较好的分离，表明小麦和蚕豆间作明显改变了小麦和蚕豆根际真菌群落结构。

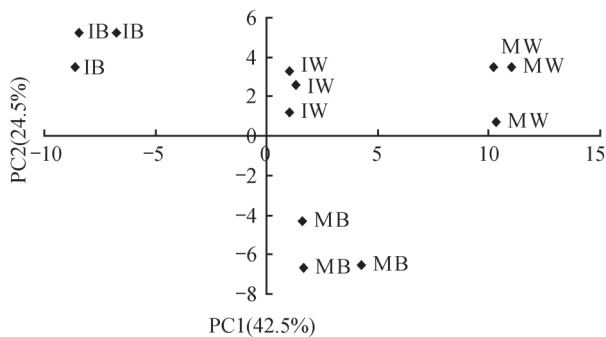


图4 小麦与蚕豆单间作条件下根际真菌群落结构的主成分分析

Fig. 4 Principal component analysis of the rhizosphere fungi communities under wheat and faba bean in monocropping and intercropping systems

## 3 讨论

### 3.1 间作对根际真菌碳源平均利用率和利用强度的影响

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分，农业生产中单一作物的长期连作容易引起土壤微生物生态失衡、病原微生物富集、有益微生物减少，土壤微生物从细菌主导型向真菌主导型转化，使病原菌更容易侵染植物而引发植物的各种土传病害最终造成作物减产<sup>[16]</sup>。多种作物连作均会导致根际微生物区系及群落结构失调而导致连作障碍的发生。如马铃薯的连作种植较轮作显著降低了块茎产量、植株生物量及经济生产力，连作马铃薯根际真菌群落结构发生了显著变化，根际土壤真菌群落组

成结构的改变特别是与土传病害有关的致病菌滋生是导致马铃薯连作障碍的重要原因<sup>[17]</sup>。而丰富的微生物群落会增强土壤对土传病害的抑制能力，如健康植株根际土壤中真菌对碳源的利用能力明显高于发病植株根际土壤真菌<sup>[18]</sup>。因此调控根际微生物群落结构并提高根际微生物多样性对维持土壤健康，提高作物产量具有重要的作用。

间作体系地上部植物多样性与地下部微生物多样性存在紧密联系，而间作系统中作物根际微生物群落结构的变化对产量优势和病害控制具有重要的贡献<sup>[7]</sup>。本课题组的前期研究表明，蚕豆单间作条件下土传连作枯萎病发病较重，发病率达到100%，而病情指数为40%以上，而小麦与蚕豆间作显著减轻了蚕豆枯萎病的发生，间作使蚕豆枯萎病的发病率降低20%，病情指数降低50.0%<sup>[10]</sup>。

根际土壤微生物的平均活性可以用AWCD随时间的变化来表征，AWCD值直观反映了微生物群落的反应速度及其最终达到的程度，其值越高，土壤微生物群落代谢活性越高<sup>[13]</sup>。马铃薯与蚕豆间作使马铃薯根际土壤微生物的AWCD值比对照提高13.39%<sup>[19]</sup>。本研究结果表明，小麦与蚕豆间作明显提高了小麦和蚕豆根际的真菌活性 (AWCD值)，且以间作蚕豆根际真菌的活性最高。与单作相比，间作使蚕豆和小麦根际真菌对Biolog FF板中碳源的总利用强度分别显著提高63.30%和52.02%。

玉米辣椒套作处理根际微生物对Biolog ECO板中6类碳源利用率较单作分别提高15%~27% (氨基酸)、12%~33% (糖类)、21%~27% (羧酸类)、9%~20% (聚合物类)、7%~19% (胺类)、7%~22% (其他类)<sup>[20]</sup>。本研究中小麦与蚕豆间作显著提高了小麦和蚕豆根际真菌对FF板中聚合物 (11.14%~34.15%)、糖类 (44.48%~104.90%)、羧酸类 (42.12%~61.90%)、氨基酸类 (29.35%~65.05%) 和胺类 (51.22%~80.63%) 碳源的利用。本研究结果表明小麦与蚕豆间作显著提高了小麦和蚕豆根际真菌的活性及对FF板中5类碳源的利用能力，且间作增强了根际真菌对FF板中碳源的总利用强度，表现为间作对蚕豆根际真菌的影响大于对小麦的影响。本研究结果与马铃薯与蚕豆间作提高了马铃薯根际微生物群落的碳源代谢强度，而且能维持较稳定的产量的结论相似。

### 3.2 间作对根际真菌群落结构及多样性的影响及其可能机理

土壤微生物多样性指数和丰富度指数是表征群落多样性的常用指数,可揭示土壤微生物种类和功能的差异。吴照祥等<sup>[18]</sup>对三七根腐病株根际真菌多样性的研究表明抑病土壤中真菌多样性显著高于感病土壤。本研究中小麦与蚕豆间作使小麦根际真菌的 $H$ 和 $S$ 分别提高2.09%和16.45%,使蚕豆根际真菌的 $H$ 和 $S$ 分别提高2.61%和11.72%。本研究结果与李鑫等<sup>[21]</sup>通过桑树与大豆间作提高根际微生物群落多样性的结论相似。菇菜套作不仅能影响土壤真菌活性,并且对其群落结构也会产生影响<sup>[22]</sup>。本研究中小麦与蚕豆间作明显改变了小麦和蚕豆根际真菌的群落结构。表明小麦与蚕豆间作显著增加了小麦和蚕豆根际真菌的香农多样性指数和丰富度指数,明显改变了小麦和蚕豆根际真菌的群落结构。

本研究中小麦与蚕豆间作增加根际真菌多样性和改变真菌群落结构可能与间作体系根系分泌物变化有关。研究表明间作改变根际微生物多样性与群落结构受根系分泌物变化的调控。根系分泌物的微小变化均会导致包括土壤病原菌在内的根际微生物区系的极大变化,它是联系植物和根际土壤微生物的重要媒介<sup>[23]</sup>。

在间作系统中,由于间作作物根系间的交错叠加作用,根系分泌物十分丰富,使根系土壤中含有更多的维生素、碳水化合物、氨基酸和有机酸等物质不仅为根际微生物的生存和繁殖提供了所需的营养和能源物质,而且间作系统中不同作物会产生不同的特异根系分泌物,并形成与之相适应的根际微生物群落,从而提高土壤微生物的整体代谢活性,促进土壤微生物群落结构多样化的形成,使土壤健康发展<sup>[24]</sup>。如本课题组前期在小麦蚕豆间作系统的研究表明,间作显著提高了有机酸的分泌量,在小麦分蘖期(57d)、孕穗期(120d)和灌浆期(142d),间作分别使小麦根系有机酸分泌量提高155%、35.6%和92.6%;在蚕豆分枝期(57d)和籽粒膨大期(142d),间作分别使蚕豆根系有机酸分泌量提高87.4%和38.7%<sup>[25]</sup>。本研究与双孢菇和番茄套作对根际真菌群落结构产生了较大的影响,降低土传病害的发病机率,维系土壤健康,进而显著提高番茄地上、地下生物量,并有助于提高产量和改善品质的结论相似<sup>[22]</sup>。而有关小麦与

蚕豆间作对根系分泌物的影响及间作系统根系分泌物与根际真菌的互作反馈调节效应及机制还有待于进一步深入研究。

## 4 结 论

小麦与蚕豆间作显著提高了小麦和蚕豆根际真菌的活性和碳源的利用强度,显著提高了根际真菌的多样性指数和丰富度指数,明显改变了根际微生物的群落结构,表明小麦与蚕豆间作能显著改善连作蚕豆的根际微生态环境。该间作模式可能成为蚕豆主产区合理的间作模式。本研究结果为选择合理种植模式、优化种植方式、加强管理以维持土壤生态系统健康提供了一定的理论依据。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Tilman D, Reich P B, Knops J, et al. Diversity and productivity in a long term grassland experiment. *Science*, 2001, 294: 843—845
- [ 2 ] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, et al. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 2000, 406: 718—722
- [ 3 ] Li L, Sun J H, Zhou L L, et al. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus deficient soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104: 11192—11196
- [ 4 ] 肖焱波, 李隆, 张福锁. 小麦蚕豆间作体系中氮的促进和后期的转移. *中国农业科学*, 2005, 38(5): 965—967. Xiao Y B, Li L, Zhang F S. The interspecific nitrogen facilitation and the subsequent nitrogen transfer between the intercropped wheat and faba bean (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(5): 965—967
- [ 5 ] Jensen E S, Peoples M B, Hauggaard-Nielsen H. Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research*, 2010, 115(3): 203—216
- [ 6 ] 叶茵. 中国蚕豆学. 北京: 中国农业出版社, 2003: 6—9. Ye Y. *Chinese fababeans* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2003: 6—9
- [ 7 ] Ehrmann J, Ritz K. Plant: soil interactions in temperate multi-cropping production systems. *Plant and Soil*, 2014, 376(1/2): 1—29
- [ 8 ] 陆雅海, 张福锁. 根际微生物研究进展. *土壤*, 2006, 38(2): 113—121. Lu Y H, Zhang F S. The advances in rhizosphere microbiology (In Chinese). *Soils*, 2006, 38(2): 113—121



- [ 9 ] van der Heijden M G A, Wagg C. Soil microbial diversity and agro-ecosystem functioning. *Plant and Soil*, 2013, 363: 1—5
- [ 10 ] 董艳, 汤利, 郑毅, 等. 施氮对间作蚕豆根际微生物区系和枯萎病发生的影响. *生态学报*, 2010, 30 ( 7 ) : 1797—1805. Dong Y, Tang L, Zheng Y, et al. Effects of N application on rhizosphere microflora and fusarium wilt occurrence of intercropped faba bean ( In Chinese ). *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 ( 7 ) : 1797—1805
- [ 11 ] 董艳, 汤利, 郑毅, 等. 小麦-蚕豆间作条件下氮肥施用量对根际微生物区系的影响. *应用生态学报*, 2008, 19 ( 7 ) : 1559—1566. Dong Y, Tang L, Zheng Y, et al. Effects of nitrogen application rate on rhizosphere microbial community in wheat-faba bean intercropping system ( In Chinese ). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19 ( 7 ) : 1559—1566
- [ 12 ] Mafham J P, Boddy L, Randerson P F. Analysis of microbial community functional diversity using sole-carbon-source utilisation profiles—a critique. *FEMS Microbiology Ecology*, 2002, 42: 1—14
- [ 13 ] Choi K H, Dobbs F C. Comparison of two kinds of Biolog microplates ( GN and ECO ) in their ability to distinguish among aquatic microbial communities. *Journal of Microbiological Methods*, 1999, 36: 203—213
- [ 14 ] Zhang N L, Wan S Q, Li L H, et al. Impacts of urea N addition on soil microbial community in a semi-arid temperate steppe in northern China. *Plant and Soil*, 2008, 311: 19—28
- [ 15 ] Larkin R P. Characterization of soil microbial communities under different potato cropping systems by microbial population dynamics, substrate utilization, and fatty acid profiles. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35: 1451—1466
- [ 16 ] Yao H Y, Jiao X D, Wu F Z. Effects of continuous cucumber cropping and alternative rotations under protected cultivation on soil microbial community diversity. *Plant and Soil*, 2006, 284: 195—203
- [ 17 ] 刘星, 邱慧珍, 王蒂, 等. 甘肃省中部沿黄灌区轮作和连作马铃薯根际土壤真菌群落的结构性差异评估. *生态学报*, 2015, 35 ( 12 ) : 1—14. Liu X, Qiu H Z, Wang D, et al. Evaluation on fungal community structure of rhizosphere soils of potato under rotation and continuous cropping systems in Yellow River Irrigation Areas of Middle Gansu Province ( In Chinese ). *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35 ( 12 ) : 1—14
- [ 18 ] 吴照祥, 郝志鹏, 陈永亮, 等. 三七根腐病株根际土壤真菌群落组成与碳源利用特征研究. *菌物学报*, 2014, 33 ( 2 ) : 1—11. Wu Z X, Hao Z P, Chen Y L, et al. Characterization of fungal community composition and carbon source utilization in the rhizosphere soil of *Panax notoginseng* suffering from root rot disease ( In Chinese ). *Mycosystema*, 2014, 33 ( 2 ) : 1—11
- [ 19 ] 汪春明, 马琨, 代晓华, 等. 间作栽培对连作马铃薯根际土壤微生物区系的影响. *生态与农村环境学报*, 2013, 29 ( 6 ) : 711—716. Wang C M, Ma K, Dai X H, et al. Effect of Intercropping on soil microflora in rhizosphere soil of potato under continuous cropping ( In Chinese ). *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2013, 29 ( 6 ) : 711—716
- [ 20 ] 徐强, 刘艳君, 陶鸿. 间套作玉米对线辣椒根际土壤微生物生态特征的影响. *中国生态农业学报*, 2013, 21 ( 9 ) : 1078—1087. Xu Q, Liu Y J, Tao H. Effects of relay intercropping maize on rhizosphere soil microbial ecological characteristics in capsicum fields ( In Chinese ). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21 ( 9 ) : 1078—1087
- [ 21 ] 李鑫, 张会慧, 岳冰冰, 等. 桑树-大豆间作对盐碱土碳代谢微生物多样性的影响. *应用生态学报*, 2012, 23 ( 7 ) : 1825—1831. Li X, Zhang H H, Yue B B, et al. Effects of mulberry-soybean intercropping on carbon-metabolic microbial diversity in saline-alkaline soil ( In Chinese ). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23 ( 7 ) : 1825—1831
- [ 22 ] 陈敏, 王军涛, 冯有智, 等. 蔬菜套作对土壤微生物群落的影响. *土壤学报*, 2015, 52 ( 1 ) : 145—153. Chen M, Wang J T, Feng Y Z, et al. Changes in soil microbial community in response to tomato-agaricus bisporus interplanting ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52 ( 1 ) : 145—153
- [ 23 ] Haichar F Z, Santaella C, Heulin T, et al. Root exudates mediated interactions belowground. *Soil Biology & Biochemistry*, 2014, 77: 69—80
- [ 24 ] 章家恩, 高爱霞, 徐华勤, 等. 玉米/花生间作对土壤微生物和土壤养分状况的影响. *应用生态学报*, 2009, 20 ( 7 ) : 1597—1602. Zhang J E, Gao A X, Xu H Q, et al. Effects of maize-peanut intercropping on soil microbial and nutrition ( In Chinese ). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 ( 7 ) : 1597—1602
- [ 25 ] 肖靖秀, 郑毅, 汤利. 小麦-蚕豆间作对根系分泌低分子量有机酸的影响. *应用生态学报*, 2014, 25 ( 6 ) : 1739—1744. Xiao J X, Zheng Y, Tang L. Effect of wheat and faba bean intercropping on root exudation of low molecular weight organic acids ( In Chinese ). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25 ( 6 ) : 1739—1744

## EFFECTS OF INTERCROPPING OF WHEAT AND FABA BEAN ON DIVERSITY OF METABOLIC FUNCTION OF RHIZOSPHERE FUNGAL COMMUNITY

Hu Guobin<sup>1</sup> Dong Kun<sup>2</sup> Dong Yan<sup>1†</sup> Tang Li<sup>1</sup> Zheng Yi<sup>1, 3</sup> Li Xinran<sup>1</sup>

(1 College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

(2 College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

(3 The National Center for Plateau Wetland of Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract** A field experiment was conducted to investigate effects of wheat and faba bean intercropping on diversity of metabolic functions of rhizosphere fungal community using the Biolog micro-plate technique for analysis. Results show that compared with that in CK (single cropping) rhizosphere fungi in the intercropping treatment was obviously higher in average well color development (AWCD), and the effect was more significance with Faba bean, rather than wheat. Biolog FF plate analysis indicates that intercropping enhanced the capacity of the rhizospheric fungi under intercropped wheat and faba bean of utilizing carbons in polymers, carbohydrates, carboxylic acids, amino acids and amines, increased their substrate richness by 29.2% and 30.3% respectively, total carbon utilization intensity 63.30% and 52.02%, respectively. Among the six categories of carbon sources, carbohydrates, carboxylic acids and amino acids, was much higher than the others in carbon utilization intensity, reaching 36.66% ~ 45.99%, 25.65% ~ 27.70% and 16.37% ~ 20.67%, respectively. Shannon index ( $H$ ) and richness index ( $S$ ) were also found to be higher in the intercropping system than in the monocropping one. Principal component analysis demonstrates that intercropping significantly altered the rhizosphere fungal community under the wheat and faba bean. Therefore, it can be concluded that intercropping apparently increases metabolism intensity of the carbon sources by the rhizosphere fungi under the wheat and faba bean and significantly their diversity and richness, thus altering their community structure. Hence, intercropping of wheat and faba bean is an effective approach to improving micro-ecological environment of the rhizosphere of monocropped faba bean.

**Key words** Wheat and faba bean intercropping; Biolog FF plates; Functional diversity of rhizosphere fungal community

(责任编辑：卢萍)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

A review of study on microbial ecology of nitrite-dependent anaerobic methane oxidation ..... Shen Lidong ( 721 )

**Soil Science and Modern Agriculture**

- Spatio-temporal variation of total N content in farmland soil of Jiangxi Province in the past 30 years ..... Zhao Xiaomin, Shao Hua, Shi Qinghua, et al. ( 730 )
- Early warning of heavy metals potential risk governance in Beijing ..... Jiang Hongqun, Wang Binwu, Liu Xiaona, et al. ( 745 )
- Effect of deep application of straw on composition of humic acid in soil aggregates ..... Zhu Shu, Dou Sen, Chen Lizhen ( 758 )
- Effect of biochar application on pakchoi (*Brassica chinensis* L.) utilizing nitrogen in acid soil ..... Yu Yingliang, Xue Lihong, Yang Linzhang, et al. ( 766 )
- Effects of water and fertilizer on fruit yield of high-yielding clonal *Camellia oleifera* Abel ..... Zhang Wenyuan, Guo Xiaomin, Tu Shuping, et al. ( 774 )

**Research Articles**

- VRML-based virtual reality modeling of three dimensional variation of soil electrical conductivity ..... Li Hongyi, Gu Chengjian, Dan Chenglong, et al. ( 781 )
- Effect of number of sampling sites on characterization of spatial variability of soil organic matter ..... Hai Nan, Zhao Yongcun, Tian Kang, et al. ( 790 )
- Research on soil water movement based on stable isotopes ..... Jin Yurong, Lu Kexin, Li Peng, et al. ( 800 )
- Basic NPK fertilizer recommendation and fertilizer formula for maize production regions in China ..... Wu Liangquan, Wu Liang, Cui Zhenling, et al. ( 816 )
- Effects of fertilization on soil organic carbon and distribution of SOC in aggregates in tidal flat polders ..... Hou Xiaojing, Yang Jingsong, Wang Xiangping, et al. ( 827 )
- Effect of long-term fertilizer application on distribution of aggregates and aggregate-associated organic carbon in paddy soil ..... Mao Xiali, Lu Kouping, He Lizhi, et al. ( 837 )
- Effects of biochar on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from paddy field under rice-wheat rotation during rice and wheat growing seasons relative to timing of amendment ..... Li Lu, Zhou Ziqiang, Pan Xiaojian, et al. ( 847 )
- Effects of successive application of crop-straw biochar on crop yield and soil properties in cambosols ..... Liu Yuan, M. Jamal Khan, Jin Haiyang, et al. ( 857 )
- Calculation of thickness of shear plane in diffuse double layer of constant charge soil colloid in single electrolyte system ..... Ding Wuqun, Zhu Qihong, Wang Lei, et al. ( 867 )
- Effect of chemical leaching remedying chromium contaminated soil in deserted chemical plant site ..... Li Shiye, Cheng Jiemin ( 877 )
- Limiting factors for restoration of dumping sites of ionic rare earth mine tailings ..... Liu Wenshen, Liu Chang, Wang Zhiwei, et al. ( 887 )
- Residues of organochlorine pesticides in soils of Liaodong and Shandong Peninsulas ..... Zhu Yingyue, Liu Quanyong, Li He, et al. ( 900 )
- Long-term application of winter green manures changed the soil microbial biomass properties in red paddy soil ..... Gao Songjuan, Cao Weidong, Bai Jinshun, et al. ( 909 )
- Effects of intercropping with leguminous crops on tomato yield, soil nutrients and enzyme activity ..... Dai Huihui, Hu Xuefeng, Cao Mingyang, et al. ( 917 )

**Research Notes**

- Relationship of free amino acids in root exudates with wilt disease (*Fusarium oxysporum*) of faba bean ..... Dong yan, Dong Kun, Tang Li, et al. ( 924 )
- Effects of intercropping of wheat and faba bean on diversity of metabolic function of rhizosphere fungal community ..... Hu Guobin, Dong Kun, Dong Yan, et al. ( 933 )
- Evolvement of structure and abundance of soil nitrogen-fixing bacterial community in *Phyllostachys edulis* plantations with age of time ..... He Donghua, Shen Qiulan, Xu Qiufang, et al. ( 941 )
- Effect of long-term fertilization on carbon sequestration in lime concretion black soil relative to fertilization pattern ..... Li Wei, Kong Lingcong, Zhang Cunling, et al. ( 949 )
- Effects of interplanting grass on utilization, loss and accumulation of <sup>15</sup>N in apple orchard ..... Peng Ling, Wen Zhao, An Xin, et al. ( 955 )

**Cover Picture:** Full view of ionic rare earth mine desert (by Tang Yetao, Liu Wenshen)

# 《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 4 期 2015 年 7 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 4 July, 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

