ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 33 卷 第 23 期 Vol.33 No.23 2013

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 23 期　　2013 年 12 月　(半月刊)

目　　次

前沿理论与学科综述

基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究…… 王　华,欧阳志云,任玉芬,等 (7323)

三疣梭子蟹增养殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例…… 董志国,李晓英,张庆起,等 (7332)

土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响…… 谭永芹,柏新富,侯玉平,等 (7340)

南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响…… 孙兴华,周晓榕,庞保平,等 (7348)

个体与基础生态

模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响…… 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (7355)

茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系…… 赵　欢,李会合,吕慧峰,等 (7364)

雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化…… 黄张婷,张　艳,宋照亮,等 (7373)

渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响…… 张树杰,廖　星,胡小加,等 (7382)

广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量…… 李友邦,丁　平,黄乘明,等 (7390)

氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响…… 谷　岩,胡文河,徐百军,等 (7399)

PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 …… 夏继刚,牛翠娟,孙麓垠 (7408)

泽苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用…… 韩秀荣,高　嵩,侯俊妮,等 (7417)

基于柑橘木虱 COⅠ基因的捕食性天敌捕食作用评估 …… 孟　翔,欧阳革成,Xia Yulu,等 (7430)

健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响……

…… 王　琪,严善春,严俊鑫,等 (7437)

种群、群落和生态系统

小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系……

…… 董　艳,董　坤,汤　利,等 (7445)

喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征…… 于　扬,杜　虎,宋同清,等 (7455)

黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估…… 李文静,王　振,韩清芳,等 (7467)

景观、区域和全球生态

粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响…… 李轶冰,逄焕成,杨　雪,等 (7478)

三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响…… 黄志霖,田耀武,肖文发,等 (7487)

基于 BP 神经网络与 ETM+遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类…… 肖锦成,欧维新,符海月 (7496)

寒温带针叶林土壤 CH_4 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应…… 高文龙,程淑兰,方华军,等 (7505)

寒温针叶林土壤呼吸作用的时空特征…… 贾丙瑞,周广胜,蒋延玲,等 (7516)

黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化…… 周小平,王效科,张红星,等 (7525)
不同排放源周边大气环境中 NH_3 浓度动态…… 刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)
施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N_2O 排放的影响 …… 罗天相,胡 锋, 李辉信 (7545)

资源与产业生态

基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测…… 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)
应用支持向量机评价太湖富营养化状态…… 张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

研究简报

亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征 …… 徐旺明, 闫文德,李洁冰,等 (7570)
青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应 …… 白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)
NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程 …… 王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)
基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法…… 张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)
施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响 …… 马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

学术信息与动态

未来地球——全球可持续性研究计划…… 刘源鑫,赵文武 (7610)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 292 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 33 * 2013-12

封面图说:兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO_2 的重要来源,研究表明,温度是寒温针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

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

DOI: 10.5846/stxb201208281214
董艳,董坤,汤利,郑毅,杨智仙,肖靖秀,赵平,胡国彬.小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系.生态学报,2013,33(23):7445-7454.
Dong Y, Dong K, Tang L, Zheng Y, Yang Z X, Xiao J X, Zhao P, Hu G B.Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system.Acta Ecologica Sinica,2013,33(23):7445-7454.

小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系

董 艳[1],董 坤[2],汤 利[1],郑 毅[1,3,*],杨智仙[1],肖靖秀[1],赵 平[1],胡国彬[1]
(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,昆明 650224)

摘要:通过田间小区试验,研究了小麦与蚕豆间作对蚕豆枯萎病发生和根际微生物代谢功能多样性的影响。结果表明,小麦与蚕豆间作使蚕豆枯萎病的发病率和病情指数分别比单作显著降低 20%和 30.4%。与单作相比,间作处理显著增加了蚕豆和小麦根际微生物对 31 种碳源的平均利用率(AWCD),其中间作蚕豆的 AWCD 值最高,比单作增加 82.7%,单作蚕豆最低。间作蚕豆和间作小麦根际微生物的 Shannon 多样性指数与丰富度指数均显著高于单作,间作使蚕豆和小麦的丰富度指数分别增加 29.2%和 30.3%。根际微生物对 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 41.96%,19.80%和 18.13%。主成分分析表明,小麦与蚕豆间作改变了根际微生物的群落组成;相关分析表明,糖类、羧酸类和氨基酸类碳源是区分单间作处理差异的主要碳源,其中氨基酸类碳源是最敏感的碳源。小麦与蚕豆间作增加了根际微生物活性,提高了 Shannon 多样性指数和丰富度指数,改变了微生物群落功能多样性,是抑制蚕豆枯萎病的有效措施为阐明根际微生物功能多样性变化在间作体系病害控制中的作用与机制奠定了理论基础。

关键词:间作;蚕豆枯萎病;Biolog ECO 板;微生物群落功能多样性

Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system

DONG Yan[1], DONG Kun[2], TANG Li[1], ZHENG Yi[1,3,*], YANG Zhixian[1], XIAO Jingxiu[1], ZHAO Ping[1], HU Guobin[1]

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 *Southwest Forestry University*, *Kunming* 650224, *China*

Abstract: Field experiment was conducted to examine the effects of wheat and faba bean intercropping on rhizosphere microbial community functional diversity and occurrence of faba bean fusarium wilt. Results showed that fusarium wilt incidence and disease index of faba bean were significantly decreased by 8.72% and 25.81% in wheat and faba bean intercropping system. Comparing with monocropping, intercropping significantly increased the average well color development (AWCD) of wheat and faba bean, and the AWCD value of intercropped faba bean was the highest and the monocropped faba bean was the lowest, AWCD value of intercropped faba bean was increased by 82.7% when compared with monocropping. Functional diversity index of Shannon index (H) and substrate richness (S) in Biolog ECO microplates were

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31060277,31360507,31260504); 国家"973"计划资助项目(2011CB100405); 农业部公益性行业科研专项课题资助项目(201103003); 云南省自然科学基金资助项目(2009CD059,2011FB051); 云南省教育厅重点基金资助项目(2011Z037)
收稿日期:2012-08-28; **修订日期**:2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhengyi163.com

significantly higher in intercropping than in monocropping system. Substrate richness of intercropped wheat and faba bean were increased by 29.2% and 30.3% respectively. The carbon sources with higher utilization intensity percentage by rhizosphere microbes were carbohydrates, amino acids and carboxylic acids, c. e. 41.96%, 19.80% and 18.13% respectively. Principal component analyses and correlation analyses demonstrated that the significant difference between monocropping and intercropping mainly depended on amino acids-dominated carbon sources and secondarily on carbohydrates and carboxylic acids. Intercropping had improved AWCD value, Shannon-wiener diversity index and richness of wheat and faba bean, changed soil microbe community functional diversity. Therefore, intercropping could be an effective measure to control faba bean fusarium wilt occurrence. It established the theory foundation for explanations diseases control in intercropping system.

Key Words: intercropping; faba bean fusarium wilt; biolog ecoplates; functional diversity of soil microbial community

许多报道认为,现代农业追求大面积单一作物连作种植和农药化肥的大量施用造成农田生态系统日趋简单和脆弱,使作物病害发生频繁,病害流行周期越来越短,连作障碍发生,造成作物减产,同时还造成不可再生资源耗竭和环境污染等严重问题[1]。许多蔬菜[2]、中药材[3]、果树[4]、大田作物[5]等单一连作种植均导致土传病害发生而减产。

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 260 万 hm^2。中国的蚕豆种植面积和产量居世界首位[6]。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[7]。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[8]。

近年来, 运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。土壤微生物对 Biolog 微平板中各类碳源利用情况的差异能够反应土壤中微生物群落代谢功能的不同,因而得到众多研究者的青睐,是研究土壤微生物多样性的主流方法之一[9]。该方法已被广泛应用于土壤、水体、活性污泥等方面来评价土壤微生物群落功能多样性变化与土壤质量和污染治理的关系[10],而对微生物群落功能多样性变化和特征碳源利用与作物土传病害发生关系的研究,目前国内外还较少。

间套作作为我国传统农业的精髓,具有增产、提高养分资源利用效率[11]、增加农田生物多样性和稳定性、持续控制病虫草害的优势[12],目前已成为缓解作物连作障碍的安全有效措施之一[13]。研究表明,小麦、毛苕子、三叶草与黄瓜间作均能提高黄瓜根际土壤微生物群落多样性,降低黄瓜角斑病、白粉病、霜霉病和枯萎病的病情指数,提高黄瓜产量[14]。西瓜与旱作水稻间作增加了西瓜根际的微生物数量,减轻了西瓜枯萎病的发生并增加了西瓜产量[13]。豆科/禾本科间作在我国传统农业生产中应用非常广泛,其中小麦/蚕豆间作在我国大部分地区都有种植,在云南特别是滇中地区也是一种较为普遍的种植方式。前期研究表明,小麦与蚕豆间作增加了根际微生物的数量并抑制了蚕豆枯萎病的发生[15]。但小麦与蚕豆间作对根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生关系的研究还未见报道。本研究通过田间小区试验,研究小麦蚕豆间作对蚕豆枯萎病发生和根际微生物群落功能多样性的影响,探讨小麦蚕豆间作条件下根际根际微生物活性、多样性变化和碳源利用与蚕豆枯萎病发生的关系,为建立连作土传病害的间作调控防治方法提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验在云南省安宁市禄脿镇上村进行。试验田块复年连作蚕豆 10a,土壤为水稻土。土壤基本农化性状

为有机质含量 23.2g/kg,全氮 1.90g/kg,碱解氮 119.0mg/kg,速效磷 56.5mg/kg,速效钾 123.4mg/kg,pH 值为 6.4。

1.2　试验设计

试验采用单因素随机区组设计,设单作小麦(MW),单作蚕豆(MB)、小麦与蚕豆间作 (W/F) 3 个处理,3 次重复,共 9 个小区,小区面积 27.0m^2。

1.3　种植规格、时间、施肥与田间管理

小麦条播(播种量 150 kg/hm^2,均匀称量至行),行间距 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,间作小区内有 3 个小麦种植带,4 个蚕豆种植带。

试验于 2010 年 10 月 16 日同时播种小麦和蚕豆,2011 年 4 月 20 日收获。

供试肥料为尿素、普通过磷酸钙,硫酸钾;小麦氮肥用量为 112.5 kg/hm^2(以 N 计),磷肥施用量为 112.5 kg/hm^2(以 P_2O_5计),钾肥施用量为 112.5 kg/hm^2(以 K_2O 计),不施有机肥。氮肥分底肥和追肥(各 50%)两次施用,磷肥和钾肥作为基肥一次性施入。蚕豆氮肥用量为小麦的一半,即 56.25 kg/hm^2,磷肥和钾肥用量与小麦相同。

1.4　蚕豆枯萎病调查

于发病初期(蚕豆分枝期)、盛期(蚕豆开花期)和末期(蚕豆鼓荚期)进行调查,调查时单作小区按对角线法选 5 点,每点调查 3 株,每个小区共调查 15 株;间作小区在两个蚕豆带上选取 5 点(第 1 个带选 2 点,第 2 个带选 3 点),每点调查 3 株,每个小区共调查 15 株。蚕豆枯萎病调查按 5 级分类标准进行[15]:

发病率(%) = (发病株数/调查总株数) ×100

病情指数(%) = ∑(各级病株数×相应级值)/(最高级值×调查总株数) ×100

1.5　采样

于蚕豆枯萎病发病盛期进行采样,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样品。蚕豆单作处理中, 每个处理的每次重复对角线 5 点取样,每点采蚕豆 3 株,然后将 15 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处理的每次重复对角线 5 点取样,每点采 30cm 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,每个处理的每次重复中选 2 个间作带,每个间作带内选取蚕豆 7 株,将 2 个间作带取得的 14 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 30cm 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。

1.6　土壤微生物代谢功能多样性分析

土壤微生物代谢功能多样性采用 Biolog 方法进行分析。称取 10.0g 土壤加入 90mL 无菌的 0.85% 的 NaC1 溶液中,在摇床上振荡 30min,将土壤样品稀释至 10^{-3},吸取 150uL 稀释液至 ECO 板的微孔中,接种好的板置于 25℃恒温培养,每隔 24h 在 Biolog Emax™ 自动读盘机上用 Biolog Reader 4.2 软件(Biolog, Hayward, CA, USA)读取 590nm 波长的光密度值,培养时间为 144h。以 31 个孔的平均光密度(AWCD)作为整体活性的有效指数之一。采用培养 72h 的数据进行土壤微生物碳源利用分析和主成分分析。

平均光密度(AWCD)的计算如公式:

$$AWCD = \sum (C - R)/n$$

式中,C 为每一个微孔的光密度值,R 为 ECO 板空白微孔的光密度值,n 为 ECO 板上碳源的种类,$n=31$。

微生物多样性指数(H)采用 Shannon-Wiener 指数法计算:

$$H = -\sum (Pi \times \log Pi)$$

式中,$Pi = (C - R)/\sum (C - R)$。

丰富度指数(S):微生物群落利用碳源种类的数目,即颜色变化孔数。

1.7 数据处理

采用 SAS9.0 软件对实验数据进行单因素方差分析和主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 间作对蚕豆枯萎病的影响

从图 1 可看出,发病初期,间作使蚕豆枯萎病发病率降低 20%,但差异未达到显著水平;发病盛期和末期,间作对蚕豆枯萎病发病率无显著影响。间作使各发病时期蚕豆枯萎病的病情指数显著降低($F = 122.88$, $P < 0.0001$)。与单作相比,发病初期、盛期和末期,间作使枯萎病的病情指数分别降低 50.0%、17.4%和 23.8%。

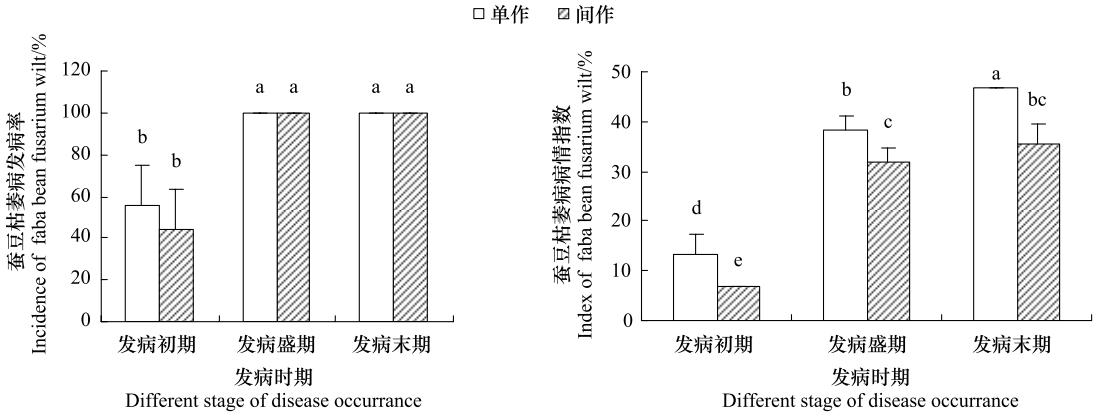

图 1 间作对蚕豆枯萎病发病率和病情指数的影响

Fig.1 Effects of intercropping on occurrence and disease index of faba bean fusarium wilt

图中不同字母表示 0.05 水平下的差异显著性($P<0.05$)

2.2 间作对平均颜色变化率(AWCD)的影响

平均吸光值(AWCD)是表征土壤微生物对总体碳源的利用能力,反映其生物活性的一个重要指标[16]。从 31 种碳源的 AWCD 值变化可见(图 2),间作显著增加了蚕豆和小麦根际的微生物活性($F = 1029.5$, $P < 0.0001$)。培养 72h 时,间作蚕豆根际微生物的 AWCD 值比单作蚕豆增加 82.7%;间作小麦根际微生物的 AWCD 值比单作小麦增加 37.5%,间作增加蚕豆根际微生物活性的幅度大于小麦。

2.3 根际微生物对不同类型碳源利用的差异

单作和间作处理条件下,小麦和蚕豆根际微生物对六类碳源的利用情况有一定差异,但碳源利用强度总体以糖类,羧酸类和氨基酸类最高(图 3)。

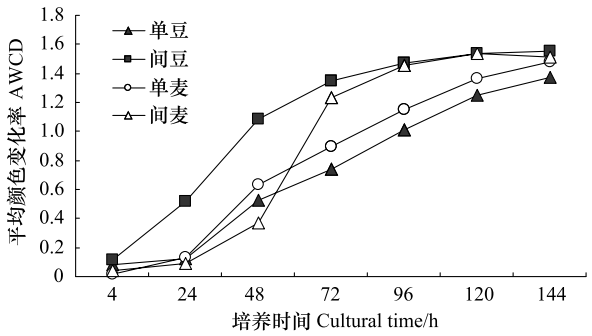

图 2 根际微生物 AWCD 随培养时间的变化

Fig.2 AWCD changes with incubation time of different treatments

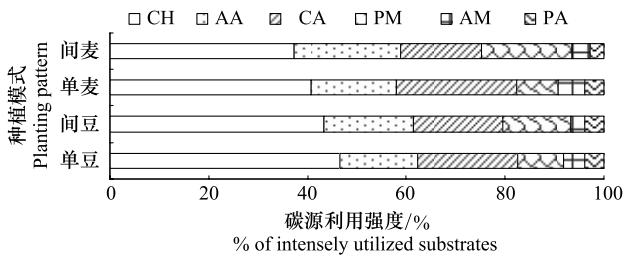

图 3 6 类碳源利用强度百分比

Fig. 3 Percentage of intensely utilized substrates among chemically similar substrate classes

CH: 糖类, AA: 氨基酸类, CA: 羧酸类, PM: 聚合物, AM: 胺类, PA:酚酸类

间作对 Biolog ECO 板中 6 类碳源的利用均有影响(图 4),单间作处理差异较大的主要是糖类、氨基酸类和聚合物,其次是有机酸类。蚕豆与小麦间作均显著增加了蚕豆根际微生物对 6 类碳源的利用。与单作蚕豆

相比,间作使蚕豆根际微生物对糖类、氨基酸类、羧酸类和聚合物类碳源的利用分别增加 61.1%、97.9%、54.4%、157.0%。

间作同样使小麦根际微生物对糖类、氨基酸类和聚合物类碳源的利用显著提高。与单作相比,间作使小麦根际微生物对糖类、氨基酸类和多聚物类碳源的利用增加 26.1%、71.6%和 201.3%,而间作小麦根际微生物对羧酸类、聚合物和酚酸类碳源的利用无显著影响。

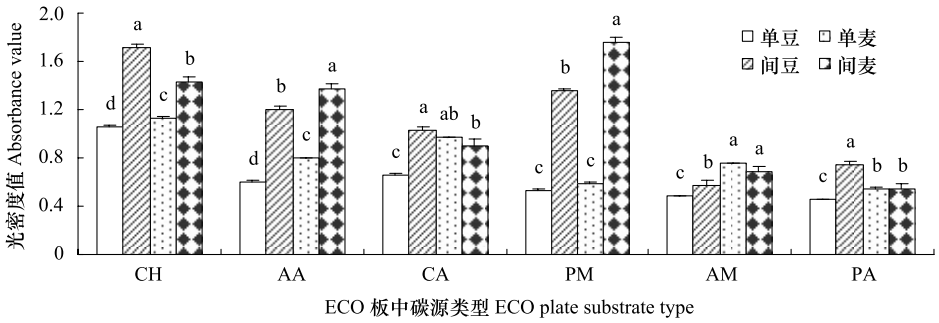

图 4　间作对根际微生物利用 6 类碳源的影响

Fig.4　Effect of intercropping on the ability to utilize six types carbon source by rhizosphere microbe

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(P<0.05)

2.4　根际微生物生理碳代谢指纹图谱分析

微生物对微平板上不同碳源利用能力图被定义为 Biolog 代谢指纹图谱(图 5)。由图 5 可看出,单作蚕豆对 i-赤藓糖醇和 D,L-α-甘油磷酸盐几乎不能利用。间作提高了蚕豆根际微生物对 ECO 板中所有糖类碳源的利用,且对 i-赤藓糖醇利用程度的提高是最大的。同时间作小麦也提高了根际微生物对 D-半乳糖酸-γ-内酯、i-赤藓糖醇、D-甘露醇、α-D-乳糖的利用。

单作蚕豆对氨基酸碳源中 L-精氨酸、L-苯基丙氨酸、L-苏氨酸和葡萄糖-L-谷氨酸的利用程度较低,间作蚕豆明显提高了根际微生物对这 4 种碳源的利用。

7 种有机酸类碳源中,单作蚕豆对 D-葡萄糖胺酸、衣康酸和 α-丁酮酸的利用程度较低,而间作蚕豆明显提高了根际微生物对 3 种碳源的利用。与单作蚕豆相比,间作蚕豆根际微生物对丙酮酸甲酯和 D-半乳糖醛酸碳源的利用也明显提高。但间作蚕豆降低了根际微生物对 D-苹果酸的利用。

单作蚕豆和单作小麦对聚合物中 4 种碳源利用程度均较低。与单作相比,间作蚕豆和间作小麦均提高了根际微生物对这 4 种多聚物碳源的利用。与单作相比,间作对胺类碳源的利用无明显影响。酚酸类碳源中 2-羟基苯甲酸的利用较低,间作蚕豆提高了微生物对 2-羟基苯甲酸和 4-羟基苯甲酸的利用。

2.5　间作对根际微生物多样性指数的影响

Shannon 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[17]。通常把颜色变化孔数作为根际微生物群落功能多样性的丰富度[18]。

从图 6 可看出,间作蚕豆和间作小麦根际微生物的 Shannon 多样性指数均显著高于单作。与单作相比,间作蚕豆提高 4.2%,而间作小麦提高 7.5%。间作使蚕豆和小麦根际微生物的丰富度指数显著提高 29.2%和 30.3%。

2.6　根际微生物多样性的主成分分析

应用主成分分析(PCA)从 31 个变量中提取 2 个主成分因子,第 1 主成分(PC1)和第 2 主成分(PC2)分别可以解释所有变量的 64.5%和 20.7%,2 个主成分累积方差贡献率达到 85.3%,可以认为前 2 个主成分能够表征原来 31 个变量的特征。因此,取前 2 个主成分(PC1 和 PC2)得分作图来表征微生物群落碳源代谢特征。

从图 7 可看出,在 PC1 上,小麦单间作处理间有很好的分离,蚕豆单间作处理间也有很好的分离。PC2 上,小麦单间作处理和蚕豆单间作处理间的差异较小,表明间作种植改变了小麦和蚕豆根际微生物的功能多

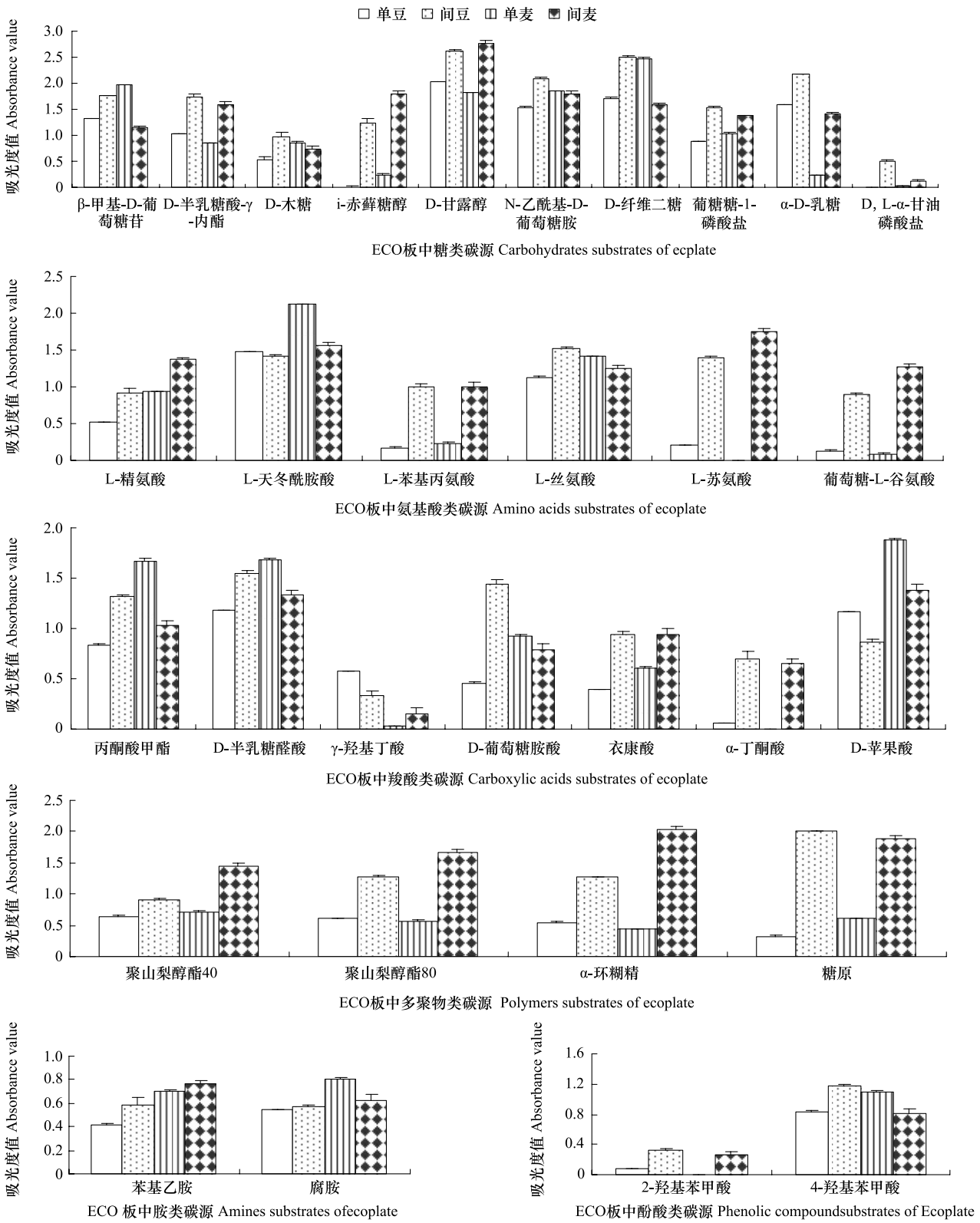

图 5 间作对根际微生物利用 31 种碳源的影响

Fig.5 Effect of intercropping on the utilization of 31 sole carbon sources by rhizosphere microbes

样性。Garland[19]认为各样本在空间位置上的不同是和碳源底物的利用能力相关联的,具体而言,各样本在 PC 空间轴坐标的差异是与聚集在该 PC 轴上碳源的利用能力相关联的。利用 PC1 和 PC2 得分系数与 31 种

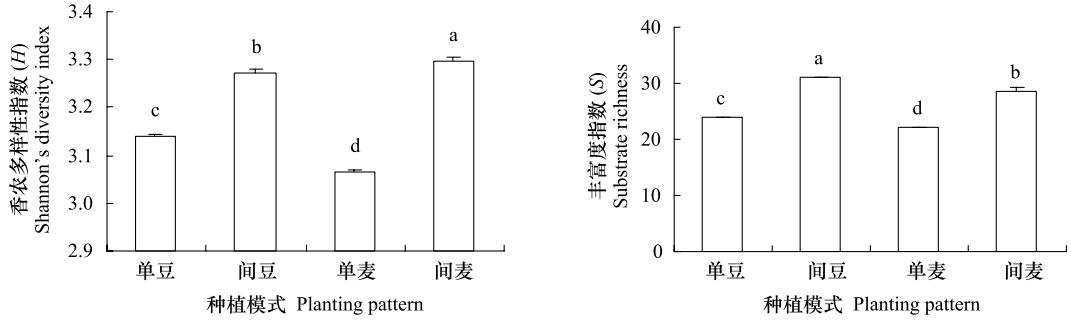

图 6　间作对 Shannon 多样性指数和丰富度的影响

Fig.6　Effect of intercropping on Shannon diversity index (*H*) and richness (S)

碳源吸光度值进行相关分析得到相关系数,相关系数绝对值越大,表示该碳源对主成分的影响越大。

从表 1 可看出,与 PC1 有较高相关性的碳源有 21 个(相关系数 r>0.8),主要包括糖类(6 个)、氨基酸类(5 个)、羧酸类(4 个)、多聚物类(3 个)、胺类(1 个)和酚酸类(2 个);其中达到显著差异的碳源分别是糖类中 β-甲基-D-葡萄糖苷、N-乙酰基-D-葡萄糖胺、D-纤维二糖;氨基酸类中的 L-天冬酰胺酸、L-苯基丙氨酸、L-丝氨酸、L-苏氨酸、葡萄糖-L-谷氨酸;羧酸类碳源中的 D-半乳糖醛酸、α-丁酮酸;聚合物类碳源中的聚山梨醇酯 80;胺类碳源中的腐胺;酚酸类碳源中的 4-羟基苯甲酸。而与第二主成分具有较高相关性的碳源仅有 4 个,主要包括糖类(2 个)、氨基酸类(1 个)和羧酸类(1 个)。

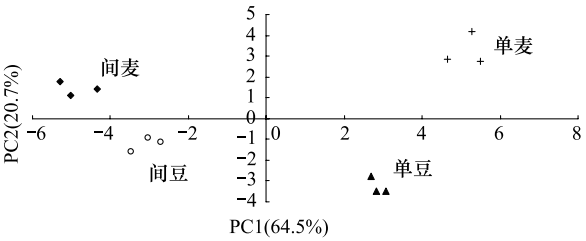

图 7　单间作处理根际微生物碳源利用特征的主成分分析

Fig.7　Principal Component analysis of carbon utilization profiles in wheat and faba bean rhizosphere microbial community of monocropping and intercropping treatments

以上分析表明糖类、羧酸类和氨基酸这 3 类碳源是区分单间作处理间差异的敏感碳源。

3　讨论

3.1　间作对根际微生物多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系

植物多样性对根际微生物多样性有很大的调控作用,植物间作套种能增加地上部的生物多样性,这不仅可改善地上部生态功能,也可间接增加地下部土壤微生物多样性,减轻连作障碍[20]。Song 等[20]利用 PCR-DGGE 方法研究表明小麦与蚕豆间作明显改变了两种作物根际细菌群落结构。水稻与西瓜间作改变了根系分泌物中糖类、氨基酸和酚酸的组成,增加了根际土壤的微生物多样性[21]。桑树与大豆间作系统中,糖类、羧酸类和聚合物是微生物利用的主要碳源,可作为区分不同种植模式下微生物碳源利用类型的依据[22]。本研究中,主成分分析表明,单作蚕豆和间作蚕豆在 PC1 上有较大的分异,单作蚕豆位于第 4 象限,间作蚕豆位于第 3 象限;单作蚕豆和间作蚕豆在 PC2 上无明显分异,表明蚕豆与小麦间作后明显改变了蚕豆根际微生物的群落功能多样性。间作改变根际微生物群落功能多样性是由微生物对 PC1 上相关系数较高的碳源利用差异引起的。与 PC1 相关系数较高的碳源主要是碳水化合物 6 种(其中 3 种达到显著相关),氨基酸类碳源 5 种(5 种均达到显著相关)和羧酸类碳源 4 种(其中 2 种达到显著相关),反映出氨基酸、糖类和羧酸类是区分单间作处理间差异的敏感碳源,表明小麦蚕豆间作条件下根际微生物功能多样性的改变是由微生物利用氨基酸、糖类和羧酸类碳源的差异引起的,暗示了小麦与蚕豆间作可能改变了根系分泌物的组成,尤其是氨基酸、糖类和有机酸的组成,本研究结果与上述研究结果相似。本研究中小麦与蚕豆间作使蚕豆枯萎病发病率降低 20%,病情指数降低 30.4%,而小麦与蚕豆间作改变了根际微生物群落功能多样性,表明间作改变根际微生物多样性与蚕豆枯萎病控制存在紧密的联系。

3.2　间作对微生物活性、多样性指数的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系

近年来,有关作物连作障碍的根际微生物变化研究日益增加,但大多数的研究均采用稀释平板培养法分

析微生物数量的变化及其与病害发生的关系。在连作障碍形成中,连作作物根分泌物起着选择性刺激根际病原物生长而抑制有益生物生长的作用,因此在研究连作障碍与根际微生态变化中将微生物多样性与根系分泌物变化相联系将能一定程度上揭示连作障碍形成的实质及寻找可能的解决措施。而 Biolog ECO 微孔板分析能够在一定程度上反映根际微生物变化与根系分泌物利用的关系。

对多种土传病害的研究结果表明,根系分泌物的微小变化都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[22]。李胜华等[23]的研究表明土壤微生物群落的 AWCD 和 Shannon index 与作物发病情况有较好的一致性,是表征土壤防病能力的重要参数之一。

魔芋与玉米间栽能有效控制魔芋软腐病,相对防效可达 61.27%,间栽使魔芋根际微生物的 Shannon 多样性指数、均匀度指数和 AWCD 值均发生了变化[24]。本研究中,与单作相比,间作使蚕豆根际微生物的 AWCD 值增加 82.7%, Shannon 多样性指数提高 4.2%,丰富度指数提高 29.2%;使小麦根际微生物多样性指数提高 7.5%,丰富度指数提高 30.3%。碳源利用能力影响土传病害发生的可能原因是能够利用多种碳源且利用效率较高的根际微生物比碳源利用种类少的根际微生物生长更好,微生物在根际生长旺盛,需要消耗根际大量的能源和碳源,对病原微生物来说可用的碳源较少而不能大量增殖[25]。本研究表明了微生物的 AWCD 值、Shannon 多样性指数和丰富度指数与土传病害发生具有密切的关系,小麦与蚕豆间作增加根际微生物活性和多样性是抑制蚕豆枯萎病的重要机制之一。

3.3 间作对碳源利用的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系

Biolog ECO 微平板中含有 31 种碳源,根据碳源官能团不同将其分为 6 类: 糖类 10 种,氨基酸类 6 种,羧酸类 7 种,多聚物类 4 种,酚酸类 2 种,胺类化合物 2 种[25]。

糖类是多羟基醛或多羟基酮的统称,是微生物利用最广的碳源。在 Biolog ECO 板中,属于糖类的碳源多达 10 种,占碳源总数的 1/3,这也从某种程度上反映了糖类在微生物分解代谢中的重要地位。羧酸是植物根系分泌物的重要组分,与养分的有效性和病原菌感染寄主植物有关,在 ECO 板中羧酸类碳源有 7 种[26]。Borrero 等[27]研究了不同栽培基质条件下番茄根际微生物对 Biolog ECO 板中碳源利用与尖孢镰刀菌侵染引起的番茄枯萎病抗性关系时发现,番茄生长于对枯萎病抗性较高的基质中时,根际微生物对羧酸类、氨基酸类、胺类、酚酸类和聚合物有较高的利用率,而生长于对枯萎病抗性较低的基质中时,根际微生物几乎

表 1 31 种碳源与 PC1、PC2 的相关系数(r>0.8 和<−0.8)

Table 1 31 sole-carbon sources substrates with high Pearson′s correlation coefficients for PC1 and PC2 in the PCA of substrate utilization patterns of soil microbial community, when no value is given, the correlation coefficients was <0.8 and>−0.8

碳源类别 Carbon sources guild	底物 Substrates	主成分 1 PC1 r	主成分 2 PC2 r
碳水化合物	β-甲基-D-葡萄糖苷	0.98*	
Carbohydrates	D-半乳糖酸-γ-内酯		−0.80
	D-木糖	0.82	
	i-赤藓糖醇	−0.93	
	D-甘露醇	−0.93	
	N-乙酰基-D-葡萄糖胺	0.97*	
	D-纤维二糖	0.95*	
	葡萄糖-1-磷酸盐		
	α-D-乳糖		−0.95*
	D,L-α-甘油磷酸盐		
氨基酸	L-精氨酸		0.91
Amino acids	L-天冬酰胺酸	0.96*	
	L-苯基丙氨酸	−0.96*	
	L-丝氨酸	0.99*	
	L-苏氨酸	−1.00*	
	葡萄糖-L-谷氨酸	−0.99*	
羧酸类化合物	丙酮酸甲酯	0.86	
Carboxylic acids	D-半乳糖醛酸	0.99*	
	γ-羟基丁酸		−0.94
	D-葡萄糖胺酸		
	衣康酸		
	α-丁酮酸	−0.97*	
	D-苹果酸	0.87	
聚合物	聚山梨醇酯 40		
Polymers	聚山梨醇酯 80	−0.95*	
	α-环糊精	−0.93	
	糖原	−0.91	
胺类化合物	苯基乙胺		
Amines /amides	腐胺	0.95*	
酚酸类化合物	2-羟基苯甲酸	−0.93	
Phenolic acids	4-羟基苯甲酸	0.97*	

* 表示 0.05 水平下的差异显著性(P<0.05)

不能利用羧酸类、氨基酸类、胺类、酚酸类和聚合物类碳源。Irikiin 等[26]利用 Biolog 板技术,研究了番茄青枯病发生和 ECO 板中碳源利用情况,结果表明番茄青枯病病株根际微生物几乎不能利用 D-木糖、D-甘露醇、D-半乳糖酸-γ-内酯、D-葡萄糖胺酸、D-半乳糖醛酸、γ-羟基丁酸;但 D-木糖、D-葡萄糖胺酸、D-半乳糖醛酸、γ-羟基丁酸能够被青枯病菌利用,如果这些能够被病原菌利用而不能被病株根际微生物利用的碳源在根际存在将会使病原菌大量利用这些碳源而无竞争的生长,最终促进病害的发生。本研究结果表明,间作显著提高了蚕豆根际微生物对所有糖类碳源的利用,同时提高了羧酸类碳源中 D-半乳糖醛酸、γ-羟基丁酸、D-葡萄糖胺酸的利用,通过间作提高微生物对这些碳源的利用而增加其活性,同时减少了对病原菌供应有效的糖类和羧酸类碳源而抑制了镰刀菌的生长。

ECO 板中氨基酸类碳源有 6 种,有 5 种常见的氨基酸和 1 种较为简单的二肽,前 5 种氨基酸均为植物根际分泌物,葡萄糖-L-谷氨酸是一种二肽,它们都是通过氨基酸代谢途径进入微生物的分解代谢。研究者普遍认为受胁迫及感病品种的植物根系分泌的氨基酸种类及数量均有增加[21]。研究表明根系分泌物中总氨基酸含量随黄瓜品种对枯萎病的抗性增加而降低,精氨酸、丝氨酸和赖氨酸的含量与品种对枯萎病的病情指数呈负相关[28]。水稻、西瓜根系分泌物在氨基酸含量及组成方面的差异是水稻与西瓜间作控制西瓜枯萎病的主要机制之一,原因是西瓜根系分泌物中游离氨基酸含量和种类显著多于水稻根系分泌物,丙氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、精氨酸为主要促菌氨基酸,而丝氨酸为抑菌氨基酸[29]。以上研究表明氨基酸对土传病原菌的影响因植物品种和病菌种类而异。本研究中间作显著增加了蚕豆根际微生物对 L-精氨酸、L-苯基丙氨酸、L-丝氨酸和 L-苏氨酸的利用,间作蚕豆对 L-天冬酰胺酸的利用无显著影响。同时 L-苯基丙氨酸、L-丝氨酸、L-苏氨酸和葡萄糖-L-谷氨酸与 PC1 的相关性达到了显著差异,而 L-精氨酸在 PC2 上的相关性较高,表明氨基酸类碳源是导致单间作处理微生物多样性变化的最敏感碳源。

2-羟基苯甲酸、4-羟基苯甲酸是多种作物连作障碍的主要化感自毒物质,蚕豆连作障碍中已经证实了 4-羟基苯甲酸是重要的化感自毒物质[1]。本研究结果表明间作提高了根际微生物对 2-羟基苯甲酸和 4-羟基苯甲酸的利用,且 4-羟基苯甲酸与 PC1 的相关性达到显著水平,而 2-羟基苯甲酸与 PC1 的相关性也较高,表明酚酸类的利用也是影响根际微生物变化的重要碳源。

糖类、氨基酸类和有机酸类是根系分泌物中的主要成分,而酚酸类碳源与多种作物连作障碍有关。本研究通过 Biolog ECO 板的研究表明间作提高了微生物对这些碳源的利用,暗示了根系分泌物的变化影响着根际微生物群落和病原微生物的生长及营养竞争,最终影响病害的发生与发展,而有关小麦与蚕豆间作对根系分泌物的影响及根系分泌物与病原菌的互作有待深入研究。

References:

[1] Asaduzzamana M, Asaoa T. Autotoxicity in beans and their allelochemicals. Scientia Horticulturae, 2012, 134: 26-31.

[2] Qu X H, Wang J G. Effect of amendments with different phenolic acids on soil microbial biomass, activity, and community diversity. Applied Soil Ecology, 2008, 3 9: 172-179.

[3] Qin Y M, Nie LW, Huang YQ, Wang Q, Liu X, Zhou K. Detection of *Paeonia ostii* autotoxins and their mechanism. Acta Ecologica Sinica, 2009, 9 (3): 1153-1161.

[4] Louwsa F J, Rivard C L, Kubota C. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. Scientia Horticulturae, 2010, 127: 127-146.

[5] Nie L, Peng S, Bouman B A M, Huang J, Cui K, VisPeras R M, Xiang J. Alleviating soil sickness caused by aerobic monocropping: Responses of aerobic rice to nutrient supply. Field Crops Research 2008, 107: 129-136.

[6] Jensen E S, Peoples M B, Hauggaard-Nielsen H. Faba bean in cropping systems. Field Crops Research, 2010, 115: 203-216.

[7] Sillero J C, Villegas-Ferna′ndez b A M, Thomas J, Rojas-Molina M M, Emeran A A, Ferna′ ndez-Aparicio M, Rubiales D. Faba bean breeding for disease resistance. Field Crops Research 2010, 115: 297-307.

[8] Hiddink G A, Termorshuizen A J, van Bruggen A H C. Mixed cropping and suppression of soilborne diseases//E. Lichtfouse, ed. Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming, Sustainable Agriculture Reviews, 2010, 4: 119-146.

[9] Anderson T H. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 98: 285-293.

[10] Preston-Mafham J, 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.

[11] Li L, Sun J H, Zhou L L, Bao X G, Zhang H G, Zhang F S. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. PNAS, 2007, 104: 11192-11196.
[12] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, Wang Y Y, Li Y, Chen J B, Fan J X, Yang S S, Hu L P, Mew T W, Teng P S, Wang Z H, Mundt C C. Genetic diversity and disease control in rice. Nature, 2000, 406: 718-722.
[13] Ren L X, Shi M S, Xing M Y, Xu Y C, Huang Q W, Shen Q R. Intercropping with aerobic rice suppressed fusarium wilt in watermelon. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40: 8342844.
[14] Wu F Z, Zhou X G. Effect of intercropping of cucumber with different crops on cucumber diseases and soil microbial community diversity. Acta Pedologica Sinica. 2009, 46(5):899-906.
[15] Dong Y, Tang L, Zheng Y, Wei L F. Effects of N application on rhizosphere microflora and fusarium wilt occurrence of intercropped faba bean. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(7):1797-1805.
[16] Weber K P, Grove J A, Gehder M, Anderson W A, Legge R L. Data transformations in the analysis of community-level substrate utilization data from microplates. Journal of Microbiological Methods, 2007, 69: 461-469.
[17] 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.
[18] 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.
[19] Garland J L. Analysis and interpretation of community-level physiological profiles in microbial ecology. FEMS Microbiology Ecology, 1997, 24: 289-300.
[20] Song Y N, Zhang F S, Marschner P, Fan F L, Gao H M, Bao X G, Sun J H, Li L. Effect of intercropping on crop yield and chemical and microbiological properties in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.), and faba bean (*Vicia faba* L.). Biology & Fertility of Soils, 2007, 43:565-574.
[21] Hao W Y, Ren LX, Ran W, Shen Q R. Allelopathic effects of root exudates from watermelon and rice plants on *Fusarium oxysporum f.sp. niveum*. Plant Soil, 2010, 336:485-497.
[22] Li X, Zhang H H, Yue B B, Jin W W, Xu N, Zhu W X, Sun G Y. Effects of mulberry-soybean intercropping on carbon-metabolic microbial diversity in saline-alkaline soil. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(7): 1825-1831.
[23] Li S H, Gu L P, Liu K X, Liao J W. Effects of combined application of organic fertilizers on the control of soilborne diseases and the regulation of soil microbial diversity. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15 (4): 965-969.
[24] Bai X H, Ji G H, Li C Y, Lu J, Dong K. Effects of Konjac and Maize Intercropping on metabolic functional diversity of konjac rhizosphere microbial community. Journal of Yunnan Agricultural University, 2008, 23(6):736-740.
[25] Irikiin Y, Nishiyama M, Otsuka S, Senoo K. Rhizobacterial community-level, sole carbon source utilization pattern affects the delay in the bacterial wilt of tomato grown in rhizobacterial community model system. Applied Soil Ecology, 2006, 34:27-32.
[26] Zhang Y Y, Qu L Y, Chen L D. An amendment on information extraction of Biolog EcoPlate™ microbiology, 2009, 36(7): 1083-1091.
[27] Borrero C, Ordova′s J, Trillasb M I, Avile′ s M.Tomato Fusarium wilt suppressiveness. The relationship between the organic plant growth media and their microbial communities as characterised by Biolog. Soil Biology & Biochemistry 2006, 38: 1631-1637.
[28] Pan K, Wu F Z. Correlation analysis of amino acids components in cucumber root exudates and fusarium wilt resistance. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (5):1945-1950.
[29] Hao W Y, Shen Q R, Ran W, Xu Y C, Ren L X. The effects of sugars and amino acids in watermelon and rice root exudates on the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp.*Niveum*. Journal of Nanjing Agricultural University, 2011, 34(3):77-82.

参考文献:

[3] 覃逸明, 聂刘旺, 黄雨清, 王千, 刘欣, 周科. 凤丹(*Paeonia ostii* T.) 自毒物质的检测及其作用机制.生态学报, 2009, 9(3):1153-1161.
[14] 吴凤芝,周新刚. 不同作物间作对黄瓜病害及土壤微生物群落多样性的影响. 土壤学报,2009,46(5):899-906.
[15] 董艳, 汤利, 郑毅, 魏兰芳. 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.
[22] 李鑫,张会慧,岳冰冰,金微微,许楠,朱文旭,孙广玉. 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.
[23] 李胜华, 谷丽萍, 刘可星, 廖宗文. 有机肥配施对番茄土传病害的防治及土壤微生物多样性的调控. 植物营养与肥料学报, 2009,15 (4): 965-969.
[24] 白学慧, 姬广海, 李成云, 卢俊, 董坤. 魔芋与玉米间栽对魔芋根际微生物群落代谢功能多样性的影响. 云南农业大学学报, 2008, 23(6):736-740.
[26] 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.
[28] 潘凯,吴凤芝. 枯萎病不同抗性黄瓜(*Cucumis sativus* L.)根系分泌物氨基酸组分与抗病的相关性. 生态学报,2007, 27(5):1945-1950.
[29] 郝文雅,沈其荣,冉炜,徐阳春,任丽轩. 西瓜和水稻根系分泌物中糖和氨基酸对西瓜枯萎病病原菌生长的影响. 南京农业大学学报, 2011, 34(3): 77-82.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements ..... WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)

Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay ..... DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)

The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush ..... TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)

Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants ..... SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

Autecology & Fundamentals

Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China ..... XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)

Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ..... ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)

Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands ..... HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)

Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ..... ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)

The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China ..... LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)

Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation ..... GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)

Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zabrafish *Danio rerio* ..... XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)

Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* ..... HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)

Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO Ⅰ marker gene ..... MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)

Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. ..... WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

Population, Community and Ecosystem

Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system ..... DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)

Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills ..... YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)

Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area ..... LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

Landscape, Regional and Global Ecology

Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region ..... LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China ····· HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)

Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data ····· XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)

Early responses of soil CH_4 uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest ····· GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)

Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem ····· JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)

Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ····· ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)

Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources ····· LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)

Influence of residues and earthworms application on N_2O emissions of winter wheat ··· LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)

Resource and Industrial Ecology

Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method ····· SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)

Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ····· ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)

Research Notes

Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China ····· XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)

Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables ····· BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)

Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants ····· WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)

Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ····· ZHANG Guiming, ZHU A′xing, YANG Shengtian, et al (7590)

Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton ····· MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编　王德利　　**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 33 卷　第 23 期　(2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 33　No. 23 (December, 2013)

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
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
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
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
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
订　　购	全国各地邮局
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
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

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 90.00 元