

丛枝菌根真菌对辣椒光合特性及根际微生物多样性和酶活性的影响

郑舜怡¹, 郭世荣^{1,2}, 张 钰¹, 宋夏夏¹, 房 晨¹, 张 杰¹, 孙 锦^{1,2*}

(1 南京农业大学 园艺学院, 农业部南方蔬菜遗传改良重点开放实验室, 江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室, 南京 210095; 2 南京农业大学(宿迁)设施园艺研究院, 江苏宿迁 223800)

摘 要:在育苗和栽培基质中添加具有生物活性的微生物群体是改善无土栽培有机基质性状和提高应用效果的重要途径。该试验通过在辣椒育苗和栽培基质中添加丛枝菌根真菌制剂恩益碧(NEB-F), 研究了 AMF 对辣椒生长、果实产量、光合特性以及根际微生物多样性和酶活性的影响。结果显示: (1) 基质添加 AMF 显著促进了辣椒植株生长, 并明显提高了产量。(2) AMF 处理显著提高了辣椒植株叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、水分利用效率(WUE), 而使胞间二氧化碳浓度(C_i)显著降低, 同时对辣椒叶片最大光化学效率(F_v/F_m)的影响不大, 而使实际光化学效率(Φ_{PSII})、光化学猝灭(q_p)和表观光合电子传递效率(ETR)显著提高。(3) 基质添加 AMF 显著增加基质中细菌、放线菌数量, 而降低真菌数量, 并明显提高了根际微生物多样性指数以及过氧化氢酶、碱性磷酸酶和尿酶活性; 添加 AMF 基质中的细菌、真菌、放线菌数量均与其过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶之间呈显著或极显著正相关关系。研究表明, 基质添加 AMF 不仅增大了辣椒叶片气孔导度, 而且促进电子传递速率, 提高 CO_2 同化利用效率和净光合速率; 同时促使辣椒根际微生物区系从低肥力的“真菌型”向高肥力的“细菌型”转化, 提高根际微生物多样性和酶活性, 有助于维持辣椒根际生态系统的稳定性与和谐性, 从而促进辣椒幼苗生长, 并提高产量。基质中添加 AMF 是提高有机基质应用效果的有效途径。

关键词:丛枝菌根真菌; 辣椒; 生长; 光合特性; 微生物多样性; 酶活性

中图分类号: Q948.12+2.3

文献标志码: A

Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Characteristics of Photosynthesis, Microbial Diversity and Enzymes Activity in Rhizosphere of Pepper Plants Cultivated in Organic Substrate

ZHENG Shunyi¹, GUO Shirong^{1,2}, ZHANG Yu¹, SONG Xiaxia¹,
FANG Chen¹, ZHANG Jie¹, SUN Jin^{1,2*}

(1 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Key Laboratory of Southern Vegetables Genetic Improvement of Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China; 2 Facility Horticulture Institute, Nanjing Agricultural University, Suqian, Jiangsu 223800, China)

Abstract: One of the important ways to improve the properties and application effect is to add microbial community with biological activity into organic cultivation substrate. In this experiment, the effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on seedling growth, fruit yield, photosynthesis, microbial diversity and enzyme activities in rhizosphere of *Capsicum annuum* L. plants were investigated by adding AMF in organic

收稿日期: 2013-12-11; 修改稿收到日期: 2014-02-26

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-25-C-03); 江苏省农业三新工程项目(SXGC[2013]331); 南京农业大学 SRT 计划(1214A24)

作者简介: 郑舜怡(1992—), 女, 本科生, 主要从事设施园艺与工程专业。E-mail: 14810120@njau.edu.cn

* 通信作者: 孙 锦, 副教授, 主要从事设施园艺与蔬菜栽培方面的研究工作。E-mail: jinsun@njau.edu.cn

substrate during seedling and cultivation. The results showed that: (1) The growth of pepper seedlings was promoted. (2) The net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r) and water use efficiency (WUE) were significantly increased while intercellular CO_2 concentration (C_i) was decreased. Meanwhile, it has little effect on the maximum photochemical efficiency (F_v/F_m), but the actual photochemical efficiency (Φ_{PSII}), photochemical quenching (q_p) and table electron transport efficiency (ETR) were increased by AMF, moreover, resulting in robust seedlings and higher yield. (3) The amount of bacteria and actinomycetes in rhizosphere of pepper plants was increased by AMF, but the amount of fungi was decreased, and the Shannon-Wiener and Shannon index of microbial diversity, the activities of catalase, urease and alkaline phosphatase in organic substrate were enhanced. Furthermore, the correlation coefficient between amount of bacteria, actinomycetes, fungi and activities of enzymes such as catalase, urease and alkaline phosphatase in AMF substrate reached to a significant or extremely significant level. Our results suggested that AMF increased stomatal conductance of Pepper leaves and improved electron transfer rate, raised CO_2 assimilation efficiency and net photosynthetic rate; meanwhile it also promoted the transformation process of substrate from low-fertility caused by fungi to high-fertility caused by bacteria, and enhanced microbial diversity and enzyme activities. AMF helps maintain the stability and harmony in rhizosphere ecological system of pepper plants, lead to more rapid seedlings growth and higher yield. In conclusion, it is an effective way to improve the application effect of organic substrate by adding AMF.

Key words: arbuscular mycorrhiza fungi; pepper; growth; photosynthetic characteristics; microbial diversity; enzyme activity

随着设施园艺的迅速发展,无土栽培技术和穴盘育苗技术正在大面积、大范围推广应用,促进了有机固体基质的研究、开发和应用^[1]。因地制宜地利用各种优质廉价的工农业废弃物资源生产优质、低成本的有机基质用于作物育苗和栽培,已经成为无土栽培和穴盘育苗的基础性工作。大量的研究表明,许多工农业废弃物资源如树皮^[2]、椰子糠^[3]、菇渣^[4]、稻壳^[5]等,均可用来发酵合成园艺作物育苗和栽培的有机基质。近年来,利用醋糟发酵合成蔬菜有机育苗和栽培基质,也取得了较好的应用效果^[6]。

针对蔬菜无土栽培和穴盘育苗中对有机基质多种功能的要求,生物活性基质研发引起国内外学者的注意,通常的做法是在成品基质中接种具有生物活性的植物根际促生菌(plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)。枯草芽孢杆菌 [*Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn.] 的利用就是成功的例子。张钰等^[7]通过在醋糟基质中添加 Ba(爸爱我)微生物菌剂(有效微生物群体为芽孢杆菌),提高了黄瓜幼苗质量,显著降低了枯萎病发病率;王其传等^[8]也通过在育苗基质中添加芽孢杆菌,优化了辣椒植株根围微生物区系,达到了促进生长、提高产量的目的。有关 PGPR 促进植物生长的机制还没有完全了解,但比较认可的观点有:(1)产生植物激素,如生长素^[9-10]、细胞分裂素^[11]和赤霉素^[12];(2)非共生固氮^[13];(3)无机磷酸盐的增溶作用以及有机磷酸盐或其它营养元素的矿化作用;(4)对病原微生物

的拮抗作用,产生嗜铁素,合成抗生素、酶或杀真菌化合物以及与有害微生物竞争营养^[14]。丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)是一类重要的 PGPR,能够与 80% 以上的维管植物建立共生关系并形成 AM 菌根^[15],具有提高植物抗旱性^[16]、抗病性^[17]、促进生长^[18]、提高产量^[19]、改善作物矿质营养^[20]、影响植物根围微生物多样性^[21]的作用,因此被誉为“生物肥料”^[22]。然而,目前有关在无土栽培有机基质中添加 AMF 来提高其应用效果的报道很少。恩益碧(nutrient enhancing balancer, NEB)是美国根茂公司研制生产的新型有机生物高科技产品,其主要作用成分是从枝菌根真菌,亦称 VA 菌根菌,每毫升含有效孢子 2 亿个,辅助成分为微量元素和有机质。该产品功能是与作物根系形成共生系统,分泌一种特殊物质,抑制土壤中有害微生物的生长发育,促进养分转化,使作物形成庞大的根系,提高作物的抗病、抗旱、抗寒能力^[23]。近年来在土壤栽培西瓜^[23]、芝麻^[24]、豆类^[25]以及韭菜^[26]等作物上进行了应用,并取得了较好的效果。

辣椒(*Capsicum annuum* L.)是中国蔬菜有机基质无土栽培中面积较大的作物之一。为此,本试验以辣椒为材料,通过在有机育苗和栽培基质中添加 AMF(NEB-F),研究了 AMF 对辣椒生长、果实产量、光合特性以及根际微生物多样性和酶活性的影响,探讨基质添加 AMF 促进辣椒生长的可能机理,为研发生物活性有机基质提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验选用的辣椒品种为‘苏椒五号’,种子由江苏省农业科学院蔬菜研究所提供。通过预备试验,筛选出适合辣椒育苗和栽培的基质配方(草炭:醋糟:蛭石=1:3:2),其基本理化性状为:容重 $0.18\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,总孔隙度 63.4%,水气比 1.53,氮 $17.75\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,磷 $3.46\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,钾 $17.26\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 6.26,EC $1.65\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$,醋糟、草炭和蛭石均由镇江培蕾基质科技发展有限公司提供。试验选用的丛枝菌根真菌购自美国恩益碧(Nutrient Enhancing Balancer, NEB)公司,商品名为 NEB-F。通过预备试验,筛选出 NEB-F 对辣椒幼苗生长和产量的促进和提高作用最显著的浓度为 0.03%。

1.2 试验方法

试验于 2012 年 8 月至 2013 年 8 月在南京农业大学牌楼实验基地的现代化温室中进行。试验分苗期和成株期 2 个阶段进行。

苗期试验设 2 个处理。有机基质装填于 72 孔穴盘后,一部分穴盘内每盘用喷壶浇灌 216 mL($3\text{ mL}/\text{穴孔}$)0.03% NEB-F 溶液(AMF 处理,直接用蒸馏水溶解),另外一部分浇灌等量清水作为对照(CK),随机区组排列,重复 3 次,每个重复 3 盘。AMF 处理完成后,开始播种。播种前辣椒种子在 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温烫水中处理 15 min,然后在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温水中浸种 8 h,此后置于 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱中催芽(湿度 80%,保持黑暗),间隔 6 h 用清水淘洗种子 1 次,直至发芽。选取饱满、发芽整齐一致的辣椒种子播种于穴盘内,每穴 2 粒。育苗期间根据基质的湿润程度和幼苗生长状况,不定期用自来水补充基质水分,每个穴盘每次浇灌 200 mL 左右的清水,以浇灌的清水不向穴盘外渗漏为准。辣椒幼苗破土并培育 50 d 后,每重复取样 15 株幼苗(每穴盘 5 株)测定生长指标,取其平均值。

成株期试验也设 2 个处理。辣椒幼苗培育 50 d 后,分别将 AMF 处理和对照的辣椒幼苗带育苗基质一并定植于装有 10 L 有机基质的栽培盆(下底直径约 23 cm,上口径约 34 cm,内置网芯)内,每盆 3 株。定植后第 5 天,在苗期用 AMF 处理过的辣椒植株根际周围再浇灌 30 mL 0.03% NEB-F 溶液(AMF 处理,强化 AMF 的作用),对照植株根际同样浇灌等量清水(CK),每处理重复 3 次,每重复 3 盆,随机区组排列。分别于 NEB-F 溶液处理后的当

天(记作第 0 天)和处理后第 3、6、9、12、15 天,在栽培盆内基质随机多点取样,混合后测定根际基质的微生物数量、酶活性;处理后第 15 天(生长盛期)测定辣椒植株的光合气体交换参数和叶绿素荧光参数;辣椒果实成熟时,及时采收,并统计单株产量。辣椒植株生长期间,根据基质的湿润程度和辣椒生长状况,不定期用自来水补充基质水分,每盆每次约 450 mL,以浇灌的清水不向栽培盆外渗漏为准。辣椒育苗和栽培时选用的有机基质相同(草炭:醋糟:蛭石=1:3:2),温室内的环境条件也相同(昼/夜温度 $28\text{ }^{\circ}\text{C}/18\text{ }^{\circ}\text{C}$,光周期 10 h/14 h,白天平均光照强度为 $400\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标和产量 幼苗定植到栽培盆之前,测量植株的株高、茎粗、鲜重、干重、总根长、最大叶面积,并计算壮苗指数。其中,株高用直尺测定子叶节到生长点的高度(cm);茎粗用游标卡尺测量与子叶展开方向平行的子叶节或子叶节下 0.5 cm 处的粗度(mm);植株用自来水洗净后用吸水纸擦干,分为地上部分和地下部分,称得鲜重(g);辣椒植株地上部分和地下部分在烘箱中 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下杀青 15 min 后,降温到 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重得到干重(g);壮苗指数=茎粗/株高 $\times$ 全株鲜重;剪取辣椒根系,并选取单株最大的叶片用 EPSON EXPERSION 1680 台式扫描仪(美国爱普生公司)和 WinRHIZO 图像分析软件(加拿大 Regent 公司)分析总根长(mm)和最大叶片叶面积(cm^2);用称量法测定果实产量(kg),总产量除以株数得到单株产量(kg)。

1.3.2 叶绿素荧光参数 在室温 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,用 Imaging-PAM-series 调制叶绿素荧光成像系统(德国 Walz 公司)测定叶绿素荧光参数。选取处理和对照植株生长点下第 3 片完全展开功能叶,经 20 min 充分暗适应后,取下叶片,在每个叶圆片上选定一个直径为 1 cm 的测试目标区(AOI),测定时先用测量光($0.5\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)测定初始荧光 F_0 ,饱和光脉冲 $2700\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (脉冲时间 0.8 s)诱导最大荧光 F_m ,光化光强度为 $145\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在软件的 Kinetics 窗口检测各叶绿素荧光参数的动力学变化曲线,最大光化学效率(F_v/F_m)、实际光化学效率(Φ_{PSII})、光化学猝灭(q_p)、表观光合电子传递效率(ETR)等可直接从 Report 窗口导出。

1.3.3 光合气体交换参数 选取各处理生长点下第 3 片完全展开功能叶,用便携式光合作用分析系统(Li-6400XT,美国 Li-Cor 公司)于晴天上午 9:00

~11:00 测定植株光合气体交换参数。测定时使用开放气路,叶室温度控制在 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$,光有效辐射($PPFD$)控制在 $500\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,参比室 CO_2 浓度为 $(380\pm 10)\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,相对湿度为 $60\%\sim 70\%$ 。测定的气体交换参数有净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r),并计算水分利用效率(WUE)= P_n/T_r ^[27]。

1.3.4 基质中微生物数量和多样性指数 土壤微生物数量采用稀释涂布平板法测定^[28]。用1/1 000天平称取5 g土样加入盛有45 mL无菌水的三角瓶中,振荡10 min,使土样均匀分布在溶液中,成为土壤悬浮液;同时称取待测土样10 g,105 $^{\circ}\text{C}$ 烘干8 h,冷却后称重。吸取1 mL土壤悬浮液于9 mL无菌水中振荡使稀释均匀,按照10倍稀释法稀释成 $10^{-2}\sim 10^{-7}$ 浓度梯度的菌悬液。根据各类微生物在土壤中数量多少选择适当浓度进行分离接种。本试验真菌采用 10^{-3} 浓度,放线菌采用 10^{-5} 浓度,细菌采用 10^{-5} 浓度,各设3次重复。细菌菌落数用牛肉蛋白胨琼脂培养基-平板计数法测定;真菌菌落数用马丁氏琼脂培养基-平板计数法测定;放线菌菌落数用高氏1号琼脂培养基-平板计数法测定^[29]。真菌、细菌和放线菌计数:每克干土中菌数(个)=菌落平均数 $\times$ 稀释倍数/土样干重。微生物总数为上述三大菌数相加, B/F =细菌总数/真菌总数^[30]。

用微生物平板计数法,以上述三大菌种作为辣椒根际微生物总物种数,计算微生物多样性指数^[31]:

Shannon-Wiener 指数: $H=-\sum(n_i/N)\ln(n_i/N)$

式中, n_i 为第*i*个物种的个体数, N 为群落中所有物种的个体数。

Shannon 均匀度指数: $E=H/\ln S$

式中, S 为群落中的总物种数。

1.3.5 基质酶活性 培养基质的过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法,脲酶活性用苯酚钠比色法,碱性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定^[32]。

1.4 数据分析

数据采用 Excel 2007 软件进行作图,采用 SPSS 17.0 数据分析软件进行 LSD-Duncan's 多重比较。

2 结果与分析

2.1 AMF 对辣椒幼苗生长和果实产量的影响

如表 1 所示,基质中添加 AMF 后,辣椒幼苗的株高、最大叶面积、地上部干重没有受到明显影响,但其茎粗、总根长、地下部干重、壮苗指数和果实产量均得到显著提高,提高幅度分别为 65.22%、

59.97%、85.37%、81.25%和 90.78%。可见,基质中添加 AMF 可明显促进辣椒幼苗生长,利于形成壮苗,并显著提高果实产量。

2.2 AMF 对辣椒叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响

如表 2 所示,AMF 处理使辣椒植株叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 、 WUE 分别比对照显著提高了 95.2%、75.0%、70.1%和 14.8%,而 C_i 则比对照显著降低了 15.5%; F_v/F_m 反映暗适应下 PS II 反应中心最大光化学效率, Φ_{PSII} 反映 PS II 反应中心在部分关闭情况下的实际原初光化学效率, q_p 反映 PS II 原初电子受体 QA 的氧化还原状态和 PS II 反应中心关闭的程度^[33], ETR 表示电子传递速率。AMF 处理对辣椒植株叶片的最大光化学效率(F_v/F_m)的影响不

表 1 AMF 对辣椒幼苗生长和果实产量的影响

Table 1 Effects of AMF on growth of pepper seedlings and yields

项目 Item	处理 Treatment	
	AMF	CK
株高 Plant height/cm	42.33 $\pm$ 1.23 a	39.70 $\pm$ 0.56 a
茎粗 Stalk width/mm	6.84 $\pm$ 0.49 a	4.14 $\pm$ 0.55 b
最大叶面积 Leave area/cm ²	13.34 $\pm$ 1.34 a	14.54 $\pm$ 0.77 a
总根长 Length of root/mm	292.45 $\pm$ 10.56 a	182.81 $\pm$ 12.43 b
地上部干重 Shoot dry weight/g	4.52 $\pm$ 0.76 a	4.43 $\pm$ 0.54 a
地下部干重 Root dry weight/g	0.76 $\pm$ 0.07 a	0.41 $\pm$ 0.04 b
壮苗指数 Strength index	1.74 $\pm$ 0.33 a	0.96 $\pm$ 0.23 b
单株产量 Yield per plant/kg	0.538 $\pm$ 0.09 a	0.282 $\pm$ 0.12 b

注:不同小写字母表示处理和对照间在 0.05 水平存在显著性差异;下同。

Note: The different normal letter stand for significant difference between treatment and control at 0.05 level. The same as below.

表 2 AMF 对辣椒叶片气体交换参数和叶绿素荧光参数的影响

Table 2 Effects of AMF on gas exchange parameters and chlorophyll fluorescence parameters of pepper leaves

项目 Item	处理 Treatments	
	AMF	CK
净光合速率 $P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	10.56 $\pm$ 0.012 1 a	5.41 $\pm$ 0.153 3 b
气孔导度 $G_s/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	123.63 $\pm$ 0.201 2 a	70.64 $\pm$ 0.218 5 b
胞间 CO_2 浓度 $C_i/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	304.68 $\pm$ 0.406 7 b	360.74 $\pm$ 2.009 4 a
蒸腾速率 $T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	3.59 $\pm$ 0.004 9 a	2.11 $\pm$ 0.006 8 b
水分利用效率 $WUE/(\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1})$	2.94 $\pm$ 0.005 1 a	2.56 $\pm$ 0.002 1 b
最大光化学效率 F_v/F_m	0.763 $\pm$ 0.002 a	0.749 $\pm$ 0.001 a
实际光化学效率 Φ_{PSII}	0.377 $\pm$ 0.012 a	0.328 $\pm$ 0.011 b
光化学猝灭 q_p	0.629 $\pm$ 0.011 a	0.580 $\pm$ 0.012 b
表观光合电子传递效率 ETR	43.367 $\pm$ 1.359 a	37.800 $\pm$ 1.250 b

大,而使其实际光化学效率(Φ_{PSII})、光化学猝灭(q_p)和表观光合电子传递效率(ETR)均显著提高。可见,基质中添加 AMF 通过促进辣椒植株的电子传递速率,提高 PSII 反应中心的反应效率和能量利用效率,从而促进光合作用。

2.3 AMF 对辣椒根际微生物区系数量、比例和多样性的影响

2.3.1 微生物数量和比例

图 1 显示,基质添加 AMF 的辣椒根际细菌、真菌和放线菌 3 类菌群的数量及其总量均随着处理时间的延长而呈现增加趋势,同期对照辣椒根际放线菌和总微生物数量也呈逐渐增加的趋势,但其细菌和真菌数量则基本维持稳定。随处理时间的延长,辣椒根际细菌所占比例在基质添加 AMF 和对照中均呈现降低的趋势,而放线菌所占比例在两类处理中却逐渐增加;真菌所

占比例在 AMF 处理中维持稳定,而在对照中逐渐降低;细菌/真菌比值则在 AMF 处理中逐渐降低,却在对照中维持稳定。与对照相比较,添加 AMF 基质中细菌数量及其所占比例、总微生物数量、细菌/真菌比值在各个测定时间点均显著提高,其放线菌数量在处理 12 d 后也显著提高,但其真菌数量及其所占比例均显著降低。可见,培养基质添加 AMF 可显著增加辣椒根基土壤中细菌数量及其比例,降低真菌数量及其比例,从而增加细菌/真菌比值。

2.3.2 微生物多样性

图 2 结果表明,基质添加 AMF 的前 9 d,多样性指数与对照差异不显著,但处理第 12 和 15 天,多样性指数显著高于对照;基质添加 AMF 的前 6 d,均匀度指数与显著高于对照,但处理第 9、12 和 15 天,均匀度指数与对照差异不显著;随着 AMF 处理时间的延长,对照和添加 AMF

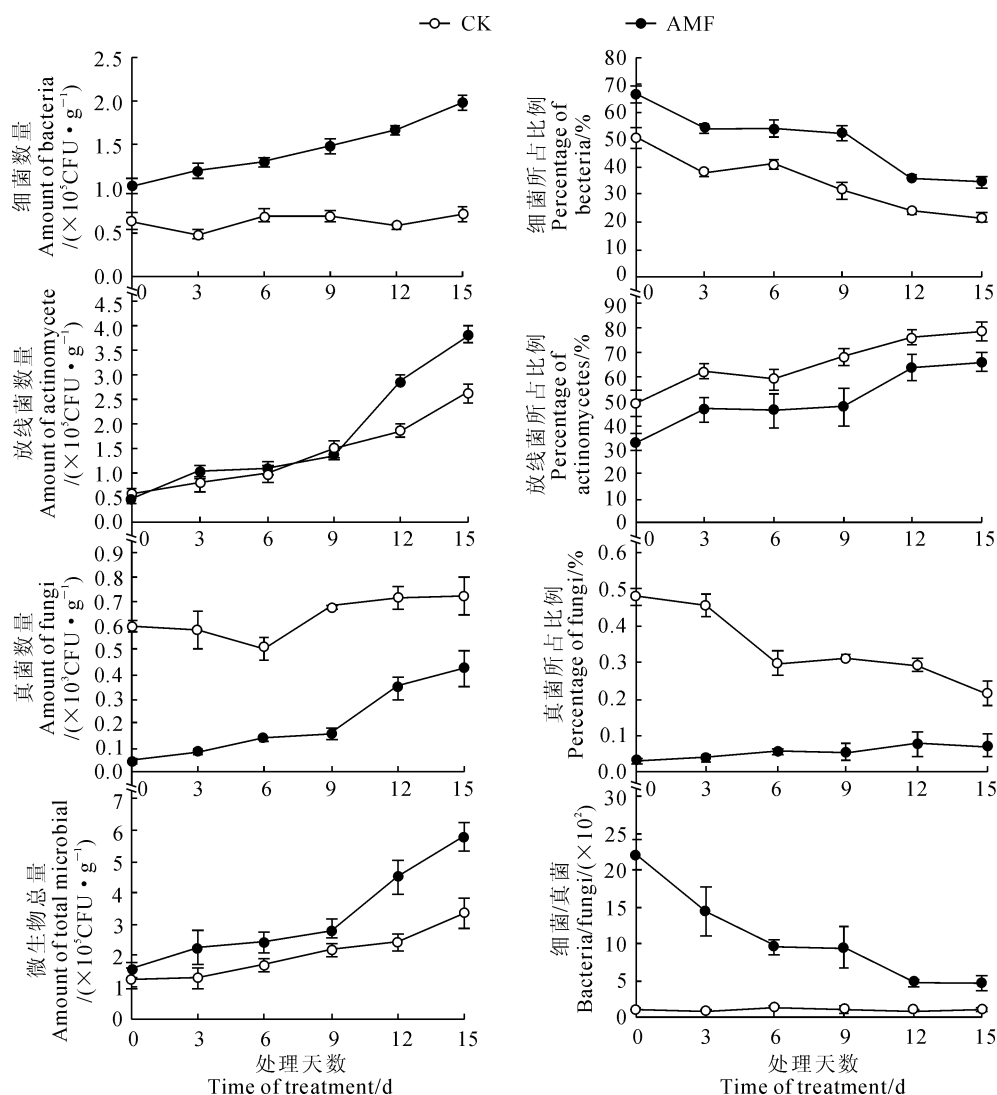


图 1 AMF 对辣椒根际微生物区系数量和比例的影响

Fig. 1 Effect of AMF on the microorganism amount and its ratios in rhizosphere of pepper plants

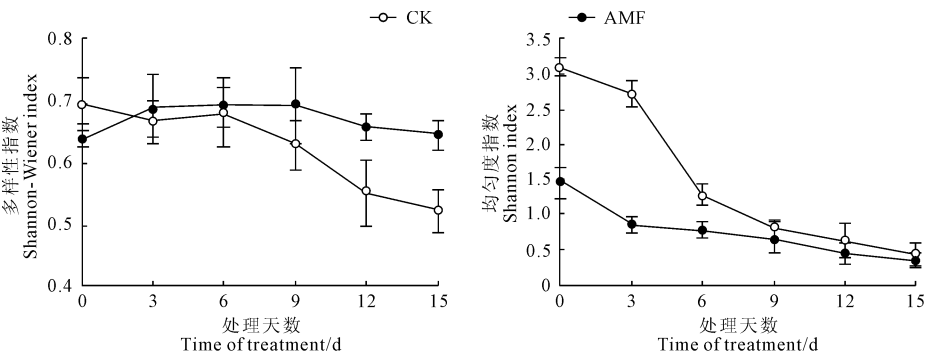


图 2 AMF 对辣椒根际微生物多样性指数和均匀度指数的影响

Fig. 2 Effect of AMF on Shannon-Wiener and Shannon index of microorganism in rhizosphere of pepper plants

表 3 AMF 基质中微生物数量与酶活性的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between microorganism amount and enzyme activities in AMF substrates

项目 Item	过氧化氢酶活性 Catalase activity	脲酶活性 Urease activity	碱性磷酸酶活性 Alkaline phosphatase activities
细菌数量 Amount of bacteria	0.942 5 **	0.950 4 **	0.920 9 **
放线菌数量 Amount of actinomycete	0.894 3 **	0.926 1 **	0.843 5 *
真菌数量 Amount of fungi	0.901 2 **	0.949 1 **	0.828 0 *

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平的显著性。

Note: * and ** stand for significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively.

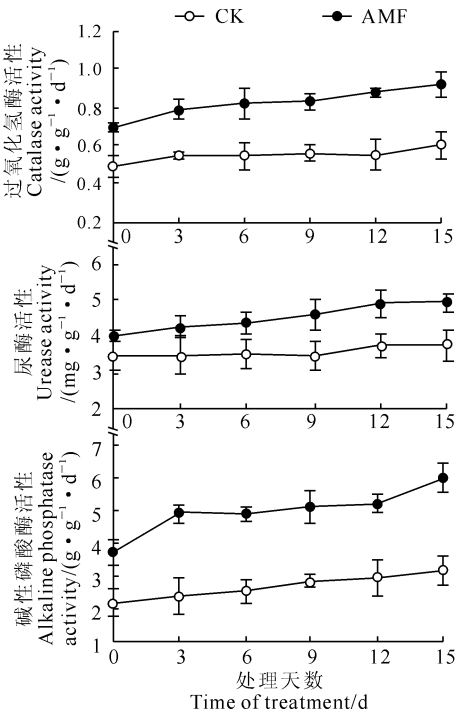


图 3 AMF 对辣椒根际基质酶活性的影响

Fig. 3 Effects of AMF on enzyme activities in rhizosphere of pepper plants

处理的辣椒根际基质微生物多样性指数、均匀度指数呈下降的趋势,但添加 AMF 处理的下降幅度明显小于对照。即添加 AMF 有利于维持基质中微生物的多样性。

2.4 AMF 对辣椒根际基质中酶活性的影响

图 3 显示,基质添加 AMF 和对照辣椒根际基质中过氧化氢酶、脲酶和碱性磷酸酶活性均随着时间的延长而逐渐增强,但 AMF 处理增加的幅度更大一些;AMF 处理各酶活性在处理期间始终高于对照且均达到显著水平($P < 0.05$)。可见,基质添加 AMF 能显著提高辣椒根际基质中过氧化氢酶、脲酶和碱性磷酸酶活性,且有随处理时间而逐步增强的趋势。

2.5 基质中微生物数量与酶活性的相关性分析

表 3 表明,基质添加 AMF 后,其中的细菌、真菌、放线菌数量与其过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶活性之间的相关系数均达到了显著或极显著水平。即增加基质中微生物数量显著有利于增强其中的酶活性。

3 讨论

植物根际促生菌(PGPR)是指定殖于植物根际系统,并能直接或间接地促进或调节植物生长的微生物^[34]。目前关于 PGPR 的筛选及应用研究报道很多,大量研究证明,PGPR 对植物生长具有显著的促进作用^[35-37],并且作用稳定,在农业生产中具有较 强的应用潜力,但这些研究都着眼于应用 PGPR 开发生物有机肥、生物制剂等方面^[38],而利用 PGPR 来改善有机基质性状、提高其应用效果的报道并不多见。有机基质无土栽培作为中国无土栽培的主要形式,在中国现代化农业示范园区、非耕地、沿海滩涂地等都有较大面积分布,研发具有优良性状和良

好使用效果的有机基质是该类无土栽培推广应用的根本。AMF 作为一类重要的 PGPR,近年来在农业生产中得到了广泛的应用,并取得了良好的应用效果,显示出了广阔的推广应用前景。本试验结果也表明,通过在有机育苗和栽培基质中添加 AMF (NEB-F),能显著促进辣椒幼苗生长,大幅度提高辣椒产量(达 90.8%),暗示通过在基质中添加 AMF 可显著提高基质的应用效果。这与朱世东等^[39]尝试在有机基质中添加微生物制剂合成多功能蔬菜无土栽培基质的研究结果类似。

光合作用是植物生长发育的基础。本实验结果表明,AMF 处理显著提高了辣椒植株叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 、 WUE ,而使 C_i 显著降低,说明 AMF 提高辣椒植株净光合速率的原因是:一方面增大了气孔导度,使更多的外界 CO_2 进入叶肉细胞,为光合作用提供了较为充足的原料;另一方面促进了 CO_2 的同化利用效率,使胞间 CO_2 浓度降低。叶绿素荧光参数分析表明,AMF 处理对辣椒叶片 F_v/F_m 的影响不大,而使 Φ_{PSII} 、 q_p 和 ETR 显著提高,说明基质中添加 AMF 通过促进辣椒植株的电子传递速率,提高 PSII 反应中心的反应效率和能量利用效率,从而促进光合作用。可见,基质中添加 AMF,不仅增大了辣椒叶片气孔导度,而且促进电子传递速率,提高 CO_2 的同化利用效率,从而进一步提高光合效率,促进辣椒植株生长。

本实验通过在有机基质中添加 AMF,显著增加了其中的细菌、放线菌和真菌数量及微生物总量,表明基质中微生物繁殖速度加快,活性水平升高,这与张钰等在黄瓜育苗基质中添加 Ba 菌剂的研究结果一致,也与前人^[40-41]在土壤中接种 AMF 的结果相似。Wei 等^[42]认为,栽培介质(包括土壤)微生物的数量与土壤肥力有极为密切的关系,这或许是基质添加 PGPR 提高基质肥力、促进辣椒生长并提高产量的重要原因。在本研究的三大类群的微生物群体中,基质中细菌所占比例最大,其次为放线菌,真菌所占比例最小,这与前人^[43-44]在土壤中的研究结果一致。回云静等^[45]研究表明,微生物菌剂可使栽培介质中的微生物种类与数量发生变化。基质添加 AMF 使细菌所占比例显著升高,而真菌和放线菌所占比例显著降低,从而导致细菌/真菌比值升高。Ovreas 和 Torsvik^[46]、Albiach 等^[47]认为,低肥力介质中真菌的比率相对较高而高肥力介质中细菌所占比例均较高。可见,添加 AMF 促使基质中微生物区系从低肥力的“真菌型”向高肥力的“细菌型”

转化,这有助于促进辣椒植株对有效养分的转化与吸收。

生物多样性指数是描述生物类型数和均匀度的一个度量指标,它在一定程度上可反映生物群落中物种的丰富程度及其各类型间的分布比例。一般而言,多样性指数越高表明微生物群落多样性越高^[48]。本实验结果表明,随着辣椒栽培时间的延长,其栽培基质中微生物的多样性指数、均匀度指数呈下降趋势,说明辣椒根际生态系统中的微生物多样性、稳定性、和谐性降低^[49],这可能与在辣椒栽培过程中植物残体、根系残留物及根系分泌物基质中不断积累有关^[50]。然而,添加 AMF 的基质微生物多样性指数和均匀度指数的降低幅度均小于对照,并且多样性指数还大于对照,说明基质添加 AMF 有助于提高辣椒根际微生物多样性,可能会增强微生物群落对环境胁迫的抵抗力,维持辣椒根际生态系统的稳定性与和谐性。

酶活性高低在一定程度上可反映作物对养分吸收利用与生长发育状况等^[51],与土壤肥力状况和土壤环境质量密切相关^[52]。陈汝等^[53]认为,土壤过氧化氢酶可以用来表征土壤的生化活性,脲酶可以用来表征土壤中有机态氮的转化状态,磷酸酶活性高低直接影响土壤中有机磷的分解、转化及其生物有效性。本试验结果表明,添加 AMF 能显著提高基质中过氧化氢酶、碱性磷酸酶和尿酶活性,且酶活性随着时间的延长而逐步增强,这与宋勇春等^[54]和何跃军等^[55]在土壤接种 AMF 的研究结果一致。真菌对根系的侵染会影响宿主,促使丛枝菌根分泌土壤酶,或通过根外菌丝分泌土壤酶^[56]。Diamantidis 等^[57]认为,土壤细菌、真菌、放线菌等是土壤关键生态过程中土壤酶活性的重要来源,并且特定的土壤酶活性与细菌和真菌类群密切相关^[58]。本试验结果表明,在添加 AMF 基质中,细菌、真菌、放线菌数量均与其 3 种酶活性之间呈显著或极显著正相关,这与袁丽环等^[59]、陈汝等^[53]在土壤接种 AMF 的研究结果相同。惠竹梅等^[60]研究表明,脲酶、碱性磷酸酶与土壤碱解 N、全 P 呈显著或极显著正相关;李坤等^[61]的结果也表明 AMF 能够促进难溶态磷向有效磷方向转化。说明基质中 AMF 通过提高过氧化氢酶、脲酶和碱性磷酸酶活性来提高基质的生化活性和有机磷的分解、转化及其生物有效性,并加速了有机态氮的转化,为辣椒生长发育提供了比较充足的 N、P 等养分。

综上所述,基质添加 AMF 不仅增大了辣椒叶

片气孔导度,而且促进电子传递速率,提高 CO₂ 同化利用效率和净光合速率;同时促使辣椒根际微生物区系从低肥力的“真菌型”向高肥力的“细菌型”转化,提高根际微生物多样性和酶活性,有助于维持辣

椒根际生态系统的稳定性与和谐性,从而促进了辣椒幼苗生长,并提高了产量。因此,通过在基质中添加 AMF 是提高有机基质应用效果的有效途径。

参考文献:

- [1] GUO SH R(郭世荣). Research progress, current exploitations and developing trends of solid cultivation medium[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2005, **21**(z2): 1—4 (in Chinese).
- [2] HERNANDEZA L, GASCO A J M, GUERRERO F, *et al.* Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants[J]. *Biore-source Technology*, 2005, **96**(1): 125—131.
- [3] ABAD M, NOGUERA P, PUCHADES R, *et al.* Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants[J]. *Biore-source Technology*, 2002, **82**(3): 241—245.
- [4] MEDINA E, PAREDES C, PEREZ M D, *et al.* Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants[J]. *Biore-source Technology*, 2009, **100**(18): 4 227—4 232.
- [5] MARIANTHI T. Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) core and rice hulls as components of container media for growing *Pinus halepensis* M. seedlings[J]. *Biore-source Technology*, 2006, **97**(14): 1 631—1 639.
- [6] LIU CH J(刘超杰), GUO SH R(郭世荣), WANG CH Y(王长义), *et al.* Vinegar residue substrate as component of mixed substrate for pepper seedling growth[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2010, **37**(4): 559—566 (in Chinese).
- [7] ZHANG Y(张 钰), SUN J(孙 锦), GUO SH R(郭世荣). Effects of different microbial agents on growth and wilt disease resistance of cucumber seedlings in substrates[J]. *Acta Bot. Boreal. Occident. Sin.* (西北植物学报), 2013, **33**(4): 780—786 (in Chinese).
- [8] WANG Q CH(王其传), SUN J(孙 锦), SHU SH(束 胜), *et al.* Effects of microbial agents on growth and photosynthesis of pepper in solar greenhouse[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 2012, **35**(6): 7—12 (in Chinese).
- [9] JONGS J, SANGS L, HYOUNY K, *et al.* Plant growth promotion in soil by some inoculated microorganisms[J]. *The Journal of Microbiology*, 2003, **41**(4): 271—276.
- [10] EGAMBERDIYEVA D. Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calciol in a semi-arid region of Uzbekistan: biochemical characterization and effectiveness[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2005, **168**(1): 94—99.
- [11] GARCIA S I E, HYNES R K, NELSON L M. Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants[J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 2001, **47**(5): 404—411.
- [12] GUTIERREZ M F J, RAMOSS B, PROBANZA A, *et al.* The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins[J]. *Physiologia Plantarum*, 2001, **111**(2): 206—211.
- [13] SAHIN F, CAKMAKCI R, KANTAR F. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate solubilizing bacteria[J]. *Plant and Soil*, 2004, **256**: 123—129.
- [14] DEY R, PAL K K, BHATT D M, *et al.* Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria[J]. *Microbiological Research*, 2004, **159**(4): 371—394.
- [15] SCHUBLER A, SCHWARZOTT D, WALKER C. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution[J]. *Mycological Research*, 2001, **105**: 1 413—1 421.
- [16] WU Q SH(吴强盛), XIA R X(夏仁学), HU ZH J(胡正嘉). Effects of arbuscular mycorrhiza on drought tolerance of *Poncirus trifoliata* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(3): 459—463 (in Chinese).
- [17] ZHANG SH B(张淑彬), WANG Y SH(王幼珊), ZOU G Y(邹国元). Effects of different factors on *in vitro* flowering of *Petunia hybrida* [J]. *Northern Horticulture* (北方园艺), 2011, (19): 123—126 (in Chinese).
- [18] LÜ G Y(吕桂云), CHEN G L(陈贵林), QI G H(齐国辉), *et al.* Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and fruit quality of plastic greenhouse *Cucumis sativus* L. [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(12): 2 352—2 356 (in Chinese).
- [19] WANG R ZH(王锐竹), HE CH X(贺超兴), WANG H S(王怀松), *et al.* Effect of AM fungi on the yield and nutrient quality of different muskmelon varieties in greenhouse[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2010, **37**(11): 1 767—1 774 (in Chinese).
- [20] CUO P(郭 鹏), HE X L(贺学礼). Inoculation effect of arbuscular mycorrhizal fungi for strawberry[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei* (河北农业大学学报), 2006, **29**(4): 53—56 (in Chinese).
- [21] WANG SH H(王树和), WANG X J(王晓娟), WANG Q(王 茜), *et al.* Responses of rhizosphere microorganisms to arbuscular mycorrhizal fungi and their effects on host plants[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2007, **16**(3): 108—113 (in Chinese).
- [22] GUO H(郭 欢), ZENG G P(曾广萍), LIU H L(刘红玲), *et al.* How arbuscular mycorrhiza fungi affect on rhizosphere microbe diversity of *Carthamus tinctorius* L. in Xinjiang[J]. *Microbiology China* (微生物学通报), 2013, **40**(7): 1 214—1 224 (in Chinese).

- [23] XU Z G(徐宗刚), GU L M(宋立美), CAI M H(蔡梅红), *et al.* The effect of VA on watermelon fusarium wilt[J]. *China Watermelon and Muskmelon* (中国西瓜甜瓜), 2003, (2): 23(in Chinese).
- [24] WEI S H L(卫双玲), GAO T M(高桐梅), ZHANG H Y(张海洋), *et al.* Study on the effect of NEB to dry matter accumulation and matter transformation of sesame[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2010, **26**(5): 127—132(in Chinese).
- [25] SHEN H B(申宏波), YAO W Q(姚文秋), YU Y M(于永梅), *et al.* Control efficiency of different biopesticides on soybean *Phytophthora* root rot[J]. *Soybean Science* (大豆科学), 2011, **30**(6): 1 054—1 056(in Chinese).
- [26] KANG P ZH(康萍芝), ZHANG L R(张丽荣), SHEN R Q(沈瑞清), Effects of NEB on microbial diversity of rhizosphere soil, growth and yield of facilities leek[J]. *Journal of Changjiang Vegetables* (长江蔬菜), 2013, (16): 64—68(in Chinese).
- [27] NIJS I, FERRIS R, BLUM H. Stomatal regulation in a changing climate: A field study using free air temperature increase(FATI) and free air CO₂ enrichment(FACE)[J]. *Plant Cell and Environment*, 1997, **20**(8): 1 041—1 050.
- [28] 胡开辉. 微生物学实验[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [29] LI W(李 威), CHENG ZH H(程智慧), MENG H W(孟焕文), *et al.* Effect of rotating different vegetables on micro-biomass and enzyme in tomato continuous cropped substrate and after culture tomato under plastic tunnel cultivation[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2012, **39**(1): 73—80(in Chinese).
- [30] DONG Y(董 艳), DONG K(董 坤), ZHENG Y(郑 毅), *et al.* Soil microbial community and enzyme activities in greenhouse with different cultivation years and planting system[J]. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), 2009, **28**(3): 527—532(in Chinese).
- [31] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其试验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [32] 吴金水. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [33] MAXWELL D P, FALK S, TRICK C G, *et al.* Growth at low temperature mimics high-light acclimation in *Chlorella vulgaris*[J]. *Plant Physiology*, 1994, **105**(2): 535—543.
- [34] AHMAD F, AHMAD I, KHAN M S. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities [J]. *Microbiological Research*, 2008, **163**(2): 173—181.
- [35] EGAMBERDIYEVA D. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, **36**(2): 184—189.
- [36] ABBASI M K, SHARIF S, KAZMI M, *et al.* Isolation of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on improving growth, yield and nutrient uptake of plants[J]. *Plant Biosystems*, 2011, **145**(1): 159—168.
- [37] KREY T, CAUS M, BAUM C, *et al.* Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and organic fertilization on P nutrition of *Zea mays* L. and *Brassica napus* L. [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2011, **174**(4): 602—613.
- [38] WANG Y(王 岩), HUANG B(黄 波), SU X(苏 晓), *et al.* The research reviewed plant growth promoting rhizobacteria bio-fertilizer type[J]. *Shandong Forestry Science and Technology* (山东林业科技), 2013, **206**(3): 92—99(in Chinese).
- [39] ZHU SH D(朱世东), XU W J(徐文娟), ZHAO G R(赵国荣). Characteristics of functional and nutritious soilless culture substrate for vegetables[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(4): 425—428(in Chinese).
- [40] PAN CH M(潘超美), GUO Q R(郭庆荣), QIU Q J(邱桥姐), *et al.* Effect of VAM fungus on the growth of core and micro-ecological environment of core rhizosphere[J]. *Soil and Environmental Sciences* (土壤与环境), 2000, **9**(4): 304—306(in Chinese).
- [41] SONG F Q(宋福强), YANG G T(杨国亭), MENG F R(孟繁荣), *et al.* The rhizospheric niche of seedlings of *Populus ussuriensis* colonized by arbuscular mycorrhizal(AM) fungi[J]. *Ecology and Environment* (生态环境学报), 2004, **13**(2): 211—216(in Chinese).
- [42] WEI X D, ZOU H L, CHU L M, *et al.* Field released transgenic papaya effect on soil microbial communities and enzyme activities[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2006, **18**(4): 734—740.
- [43] BROWN A L. Ecology of soil organisms[M]. London: Heinemann Educational Books Ltd, 1978.
- [44] AMANN R, LUDWIG W. Ribosomal RNA-targeted nucleic acid probes for studies in microbial ecology[J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 2000, **24**(5): 555—565.
- [45] HUI Y J(回云静), WU CH B(吴长宝), XU X M(徐小明), *et al.* Biological control and growth effect of bacterium *Bacillus subtilis* on Chinese magnoliavine powdery mildew[J]. *Journal of Fungal Research* (菌物研究), 2011, **9**(2): 100—104(in Chinese).
- [46] OVREAS L, TORSVIK V. Microbial diversity and community structure in two different agricultural soil communities[J]. *Microbial Ecology*, 1998, **36**(3—4): 303—315.
- [47] ALBIACH R, CANET R, POMARES F, *et al.* Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil[J]. *Bioresource Technology*, 2000, **75**(1): 43—48.
- [48] SUSANNE K, VERONICA A M, HUSEIN A A. Microbial community composition and enzyme activities in a sandy loam soil after fumigation with methyl bromide or alternative biocides[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**(6): 1 243—1 254.
- [49] KENNEDY A C, SMITH K L. Soil microbial diversity and the sustainability of a cultural soils[J]. *Plant and Soils*, 1995, **170**(1): 75—86.

- [50] KOWALCHUK G A, BUMA D S, DE B W, *et al.* Effects of above-ground plant species composition and diversity on the diversity of soil-borne microorganisms[J]. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2002, **81**(1-4): 509-520.
- [51] FLOCH C, CAPOWIEZ Y, CRIQUET S. Enzyme activities in apple orchard agroecosystems: How are they affected by management strategy and soil properties[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, **41**(1): 61-68.
- [52] BENITEZ E, NOGALES R, CAMPOS M, *et al.* Biochemical variability of olive-orchard soils under different management systems[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, **32**(2): 221-231.
- [53] CHEN R(陈 汝), WANG H N(王海宁), JIANG Y M(姜远茂). Rhizosphere soil microbial quantity and enzyme activity of different apple rootstocks[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2012, **45**(10): 2 099-2 106 (in Chinese).
- [54] SONG Y CH(宋勇春), LI X L(李晓林), FENG G(冯 固). Effect of phosphatase activity on soil organic phosphorus loss in the environment of clover growth[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(7): 1 130-1 135 (in Chinese).
- [55] HE Y J(何跃军), ZHONG ZH CH(钟章成), LIU J M(刘济明), *et al.* Response of N and P absorption on *Broussonetia papyrifera* seedlings to inoculate vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **24**(11): 4 840-4 847 (in Chinese).
- [56] AN X J(安秀娟), HE X L(贺学礼). Influence of soil factors on arbuscular mycorrhizal fungal infections of four legumes species in Maowusu sandy land[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei* (河北农业大学学报), 2007, **30**(1): 45-49 (in Chinese).
- [57] DIAMANTIDIS G, EFFOSSE A, POTIER P, *et al.* Purification and characterization of the first bacterial laccase in the rhizospheric bacterium *Azospirillum lipoferum*[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, **32**(7): 919-927.
- [58] AON M A, COLANERI A C. II. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, **18**(3): 255-270.
- [59] YUAN L H(袁丽环), YAN G Q(闫桂琴). Rhizospheric soil of seedlings of *Elaeagnus mollis* colonized by arbuscular mycorrhizal fungi[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2010, **34**(6): 678-686 (in Chinese).
- [60] HUI ZH M(惠竹梅), YUE T X(岳泰新), ZHANG J(张 瑾), *et al.* Relationship between soil biological characteristics and nutrient content under intercropping system of vineyard in northwestern semiarid area[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2011, **44**(11): 2 310-2 317 (in Chinese).
- [61] LI K(李 坤), GUO X W(郭修武), SUN Y N(孙英妮). Effects of grape-replanting on soil bacterial and fungal populations[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(12): 3 109-3 114 (in Chinese).

封面植物介绍——裸茎碎米荠

裸茎碎米荠(*Cardamine scaposa* Franch.) 隶属于十字花科(Brassicaceae)碎米荠属。多年生草本,高4~18 cm,花葶状,全株无毛。根状茎纤细,匍匐生长。茎单一直立,无叶。基生叶单一;叶柄长1~12 cm;叶近于圆形或肾状圆形,长0.3~2.0 cm,宽0.5~3.0 cm,基部心形,边缘波状或全缘。无茎生叶。总状花序顶生,具2~10朵花。果期花梗直立或上升,长1~4 cm,基部的最长。萼片卵圆形或椭圆形,长3~4 mm,宽1.5~2.2 mm,边缘膜质,白色透明。花瓣白色,倒卵形,长8~13 mm,宽5~7 mm,顶端圆或微凹,基部渐狭呈短爪。中间一对花丝长4.5~8.0 mm,基部略扩大;外侧一对花丝长2.5~4.5 mm;花药狭长卵形,长1.5~1.8 mm;花柱长3.0~7.5 mm。每室具胚珠8~14个。长角果长2.0~3.5 cm,宽1.2~1.7 mm;光滑无毛。种子淡褐色,长圆形,长2~3 mm,宽1.0~1.5 mm,无翅。花期4~6月,果期6~7月。

裸茎碎米荠是中国特有一种药用植物,生长在海拔1 400~2 900 m的灌木丛和潮湿地带。分布于河北、内蒙古、陕西、山西和四川。

(图文由西北农林科技大学资环学院朱仁斌提供)