

分根培养系统中 AM 真菌抑制大豆 胞囊线虫病的效应

李岩 李俊喜 徐丽娟 赵洪海 刘润进*

(青岛农业大学菌根生物技术研究所 山东 青岛 266109)

摘要: 在分根培养系统中将大豆(*Glycine max* Merrill)幼苗接种丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)真菌摩西球囊霉(*Glomus mosseae*)、幼套球囊霉(*G. etunicatum*)或/和大豆胞囊线虫(SCN, *Heterodera glycines*)后, 定期测定大豆根系中 AM 真菌及线虫侵染率、病情指数、过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)、 β -1,3-葡聚糖酶及几丁质酶活性的动态变化。结果表明, 将大豆胞囊线虫与 AM 真菌接种于分根培养系统同一室或分别接种于不同室, AM 真菌均能显著降低大豆病情指数和线虫侵染速率, 且将二者接种同一室处理的效果大于不同室处理; 与只接种 SCN 的处理相比, 接种摩西球囊霉和幼套球囊霉 3 周后在同室接种 SCN 处理的根围土壤中胞囊数、根上胞囊数和根内线虫数分别降低了 47.4%、58.9%、46.6%和 50.5%、67.0%、57.5%, 表明 AM 真菌能显著抑制线虫的发育; 摩西球囊霉和幼套球囊霉在一定时间段内诱导了大豆根系过氧化物酶、苯丙氨酸解氨酶、 β -1,3-葡聚糖酶及几丁质酶的活性。摩西球囊霉和幼套球囊霉能够诱导大豆植株抵抗大豆胞囊线虫的侵染, 既能在同一室的根围局部与 SCN 竞争侵染位点, 又能对不同室的根系诱导产生防御性酶, 推测摩西球囊霉和幼套球囊霉拮抗 SCN 的效应既是局部的, 也是系统性的。

关键词: 丛枝菌根真菌, 防御性酶, 大豆胞囊线虫, 大豆, 分根培养系统

The Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Antagonize Soybean Cyst Nematode Disease

LI Yan LI Jun-Xi XU Li-Juan ZHAO Hong-Hai LIU Run-Jin*

(Institute of Mycorrhizal Biotechnology, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: Soybean (*Glycine max* Merrill) seedlings were inoculated with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi, *Glomus mosseae*, *G. etunicatum*, or/and soybean cyst nematode (SCN) *Heterodera glycines* in split-root systems. The dynamic changes of colonization of AM fungi, penetration rate of SCN, disease index, activities of peroxidase (POD), phenylalanine ammonia lyase (PAL), β -1,3-glucanase and chitinase in roots were analyzed. Both two arbuscular mycorrhizal (AM) fungi were able to decrease the disease index and penetration rate of SCN whether in one compartment or the other compartment of the split-root systems, the AM fungus and SCN inoculation in the same one compartment showed greater

effectiveness than that in the two compartments. Compared with the treatment with SCN, the number of cysts in rhizospheric soil, cysts on roots and SCN in roots decreased by 47.4%, 58.9%, 46.6% and 50.5%, 67.0%, 57.5% respectively in the treatment inoculated with *G. mosseae* or *G. etunicatum*, and inoculated with SCN 3 weeks after AM fungal inoculation. It was indicated that AM fungi could significantly inhibit the development of nematode. The activities of the four enzymes in roots colonized by *G. mosseae* or *G. etunicatum* could be induced in a period of time. The AM fungus not only competed with SCN for colonization sites in one compartment, but also activated the defense mechanism of soybean, elicited the defensive enzymes in the other compartment. It was suggested that AM fungi can both systemically and locally antagonize SCN.

Keywords: AM fungi, Defensive enzyme, Soybean cyst nematode, Soybean, Split-root systems

研究表明, 丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)真菌能在一定程度上拮抗植物病原物, 尤其是抑制病原线虫的效果更为明显^[1]。很多试验观察到 AM 真菌可显著降低根结线虫(*Meloidogyne incognita* Kofoid & White)的危害和繁殖^[2-4]。早在 1972 年, Fox 和 Spasoff^[5]首次报道了烟草上胞囊线虫(*Globodera tabacum solanacearum* Miller & Gray)与 AM 真菌极大巨孢囊霉[*Gigaspora gigantea* (Nicol. & Gerd.) Gerdemann & Trappe]相互抑制的试验结果。Francl 和 Dropkin 等^[6]研究证实了 AM 真菌聚生球囊霉 [*G. fasciculatum* (Thaxter) Gerdemann & Trappe] 是大豆胞囊线虫(Soybean cyst nematode, SCN, *Heterodera glycines* Ichinohe)的弱寄生菌。之后不久, 国内也发现 SCN 的胞囊内存在大量 AM 真菌的厚垣孢子^[7], 并开展了 AM 真菌与大豆胞囊线虫相互作用关系的研究, 结果表明前者显著降低了 SCN 繁殖体的数量和侵染速率^[8]。在分子生物学、免疫学和组织化学技术基础上的研究认为接种 AM 真菌能抑制线虫的危害与诱导植物防御反应有关^[9]。但这些研究并没有证明 AM 真菌诱导植物抗病原线虫的反映是局部的还是系统性的。在 2005-2007 年开展的试验中, 我们利用分根培养系统(Split-root systems), 将大豆根系一分为二, 令其在相互隔离的两室内生长, 并进行接种 SCN 和 AM 真菌处理。通过分析不同空间的处理对大豆防御性酶的诱导效果, 以探讨 AM 真菌抑制 SCN、提高大豆抗病性的作用机制^[10], 本文报道了该研究的部分结果。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 AM 真菌: 用三叶草(*Trifolium repens* L.)扩繁的摩西球囊霉 [*Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.)

Gerdemann & Trappe, G. m]、幼套球囊霉(*G. etunicatum* Becker & Gerdemann, G. e)孢子、菌根根段、根外菌丝及培养基质作接种物。

1.1.2 大豆胞囊线虫: 3 号生理小种的胞囊由中科院微生物研究所提供。

1.1.3 大豆(*Glycine max* Merrill)品种: “鲁豆 11 号”。

1.1.4 分根培养系统: 用有机塑料板做成长方体培养钵, 培养钵由有机板隔开形成 2 个容积均为 1000 mL (10 cm × 10 cm × 10 cm)的分室, 并严格密封以保证两分室间无任何物质交换。

1.2 试验设计

砂壤土(pH 7.5, 全磷 0.31 g/kg, 速效磷 16.8 μg/g)过筛后高温灭菌(1×10^5 Pa, 1 h)。大豆种子用次氯酸钠表面消毒后在育苗器的灭菌基质中培养, 2-3 片真叶期后, 将幼苗根系一分为二固定在分根培养系统上, 让其在完全隔离的左右两室内分别生长。试验设 8 个处理: (1) CK (不接种对照); (2) G. m (移栽时接种 1 号室接种摩西球囊霉); (3) G. e (移栽时 1 号室接种幼套球囊霉); (4) SCN (移栽后 3 周 1 号室接种 SCN); (5) G. m + SCN(1) (移栽时在 1 号室接种摩西球囊霉, 3 周后接种 SCN); (6) G. m + SCN(2) (移栽时在 1 号室接种 G. m, 3 周后于 2 号室接种 SCN); (7) G. e + SCN(1) (移栽时在 1 号室接种幼套球囊霉, 3 周后接种 SCN); (8) G. e + SCN(2) (移栽时在 1 号室接种 G. e, 3 周后于 2 号室接种 SCN)。随机排列, 每处理重复 25 次。移栽前分根培养系统中接入供试 AM 真菌接种物约 5000 接种势单位 (IPU)^[11], 移栽后 3 周接种 SCN, 接种大豆胞囊线虫二龄幼虫 4000 个/株, 对照则加入等量灭菌的 AM 真菌接种物和接种物滤液, 与土壤混匀。采用一般温室管理。接种线虫后第 1 天起每隔 2 d 各处理同时取根样, 每处理随机取样 3 盆, 样品用液氮冷冻

后保存于-70°C 冰箱。

1.3 分析测定

1.3.1 AM 真菌侵染率: 10% KOH 溶液透明, 2% HCl 酸化, 0.1% 酸性品红染色。在 BX51 OLYMPUS 显微镜下观察测定 AM 真菌侵染率。

1.3.2 调查大豆根系上的胞囊数、根内线虫数, 并参照王秋荣等^[12]的方法, 计算病情指数。

1.3.3 线虫侵染速率: 参照刘维志^[13]的方法。将根系放入煮沸的 0.1% 酸性品红乳酚油中, 煮沸 3 min, 在乳酚油中褪色 2 d, 然后在显微镜下检查线虫侵染速率。

1.3.4 酶活性的测定: 接种线虫后定期测定以下各酶的活性: 过氧化物酶(Peroxidase, POD)活性测定, 取 0.5 g 大豆根系于小研钵中, 加 5 mL 磷酸缓冲液(50 mmol/L、pH 6.0, 含 1% PVP 和 15 mmol/L 巯基乙醇), 冰浴研磨, 4°C、15000 × g 离心 15 min, 取上清液测定酶活性。反应液为 3 mL 磷酸缓冲液(0.01 mol/L、pH 6.0, 含 0.1 mol/L H₂O₂ 和 0.25% 愈创木酚)加 10 μL 酶液, 室温反应 2 min 后测定 OD₄₇₀。

苯丙氨酸解氨酶(Phenylalanine ammonia lyase, PAL)活性测定, 取 0.5 g 大豆根系于小研钵中, 加 5 mL 硼酸缓冲液(0.1 mol/L、pH 8.8, 含 1% PVP 和 15 mmol/L 巯基乙醇), 冰浴研磨, 4°C、15000 × g 离心 15 min, 取上清液测定酶活性。反应液为 3 mL

硼酸缓冲液(0.1 mol/L、pH 8.8, 含 0.025 mol/L 的 L-苯丙氨酸, 二者比例为 2:1)加 1.0 mL 酶液, 4°C 反应 1 h 后, 加 0.5 mL 6 mol/L 的 HCl 中止反应, 测定 OD₂₉₀。

β-1,3-葡聚糖酶活性测定, 参照史益敏^[14]的方法, 取 0.5 g 大豆根系放于小研钵中, 加 5 mL 醋酸缓冲液(0.1 mol/L, pH 5.2), 冰浴研磨, 4°C、15000 × g 离心 15 min, 取上清液备用。0.4 mL 的 2.5 g/L 昆布多糖(Sigma 公司, 溶于上述醋酸缓冲液中), 加入 0.1 mL 的酶液, 37°C 保温 15 min, 立即加入 0.5 mL 铜试剂, 混匀, 100°C 水浴 10 min, 冷却, 再加入 0.5 mL 砷钼酸试剂, 呈现蓝色后加蒸馏水 3.5 mL, 摇匀后 660 nm 处比色。根据标准曲线, 求出对应的还原糖含量。

几丁质酶活性测定参照 Boller 等^[15]的方法, 酶的提取方法同 β-1,3-葡聚糖酶。将 0.2 mL 酶液、0.2 mL 胶态几丁质(含 1 mg 几丁质干粉, Sigma 公司)、0.4 mL 0.1 mol/L pH 5.2 的醋酸缓冲液混合物, 37°C 水浴保温 2-4 h, 5000 × g 离心 5 min 终止反应。取上清液 0.4 mL, 加 50 μL 3% 蜗牛酶(Sigma 公司)、50 μL 0.05 mol/L pH 7.1 的磷酸缓冲液, 37°C 水浴保温 1 h, 于 585 nm 下比色, 以每分钟分解胶态几丁质产生 1 nmol N-乙酰氨基葡萄糖的酶量为 1 个活力单位。

表 1 分根培养系统下 AM 真菌对大豆胞囊线虫及其病害的影响

Table 1 Effects of AM fungi on soybean cyst nematodes and disease of soybean seedlings under split-root systems

处理 Treatments	根围土中胞囊数(个/250 g 土) Cysts in rhizospheric soil (Number/250 g soil)	根上胞囊数(个/株) Cysts on roots (Number/plant)	根内线虫数(个/株) SCN in roots (Number/plant)	病情指数 Disease index
CK	0	0	0	0
G. m	0	0	0	0
G. e	0	0	0	0
SCN	194 a	112 a	73 a	57.2 a
G. m + SCN(1)	102 d	46 cd	39 cd	23.7 d
G. m + SCN(2)	138 b	61 b	52 d	41.3 b
G. e + SCN(1)	96 e	37 d	31 d	20.9 d
G. e + SCN(2)	125 c	54 dc	43 c	29.6 c

注: 各列不同小写字母为 $P = 0.05$ 水平差异显著。表中为接种 45 d 后的测定结果。CK: 对照; G. m: 移栽时接种 1 号室摩西球囊霉; G. e: 移栽时 1 号室接种幼套球囊霉; SCN: 移栽后 3 周 1 号室接种 SCN; G. m + SCN(1): 移栽时在 1 号室接种摩西球囊霉, 3 周后接种 SCN; G. m + SCN(2): 移栽时在 1 号室接种 G. m, 3 周后于 2 号室接种 SCN; G. e + SCN(1): 移栽时在 1 号室接种幼套球囊霉, 3 周后接种 SCN; G. e + SCN(2): 移栽时在 1 号室接种 G. e, 3 周后于 2 号室接种 SCN。下同。

Note: Different letters in columns means significant different at $P = 0.05$ level. Data were determined 45 days after inoculating. CK: Control; G. m: inoculated *G. mosseae* in Room 1 when transplanting; G. e: inoculated *G. etunicatum* in Room 1 when transplanting; SCN: Inoculated SCN in Room 1 of the split-root systems 3 weeks after transplanting; G. m + SCN(1): Inoculated *G. mosseae* in Room 1 when transplanting, inoculated SCN 3 weeks after transplanting; G. m + SCN(2): Inoculated *G. mosseae* in Room 1 when transplanting, inoculated SCN in Room 2 of the split-root systems 3 weeks after transplanting; G. e + SCN(1): Inoculated *G. etunicatum* in Room 1 when transplanting, inoculating SCN 3 weeks after transplanting; G. e + SCN(2): Inoculated *G. etunicatum* in Room 1 when transplanting, inoculated SCN in Room 2 of the split-root systems 3 weeks after transplanting. The same as below.

1.4 数据分析

采用 SAS V6.12 (SAS Institute Inc.) 统计软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 AM 真菌对大豆胞囊线虫及其病害的影响

2.1.1 AM 真菌对 SCN 生长发育的影响: AM 真菌与 SCN 接种于同一室或不同分室, AM 真菌均显著降低了根围土中胞囊数、根上胞囊数及根内线虫数, 其中, 将 AM 真菌和 SCN 二者接于同一室的处理, 对 SCN 的抑制效果明显优于接于不同室的处理, 而且接种 *G. e* 处理的效应显著大于 *G. m* 处理(表 1)。AM 真菌和 SCN 接种于同一室或不同分室处理, 均显著降低了大豆病情指数。其中, 以 *G. e* + SCN 接种于同一室的处理效果最为明显。AM 真菌与 SCN 接种于不同分室, AM 真菌同样可以显著降低病情指数。

2.1.2 AM 真菌对 SCN 侵染速率的影响: 接种 AM 真菌 3 周后在同室或不同室接种 SCN, 线虫侵染速率总体呈下降趋势, 而单接种 SCN 的处理, 线虫侵染速率基本呈上升趋势(图 1)。表明 AM 真菌能抑制线虫的侵染。另外, 将大豆胞囊线虫与 AM 真菌接种于同室处理的线虫侵染速率低于接种于不同室处理, 且 *G. e* 比 *G. m* 更能有效抑制线虫侵染速率。

2.2 各接种处理对大豆根系内防御性酶活性变化的影响

2.2.1 过氧化物酶(POD)活性变化: 预先接种 *G. m* 或 *G. e*, 在同一室或不同室接种 SCN 后, 大豆根内

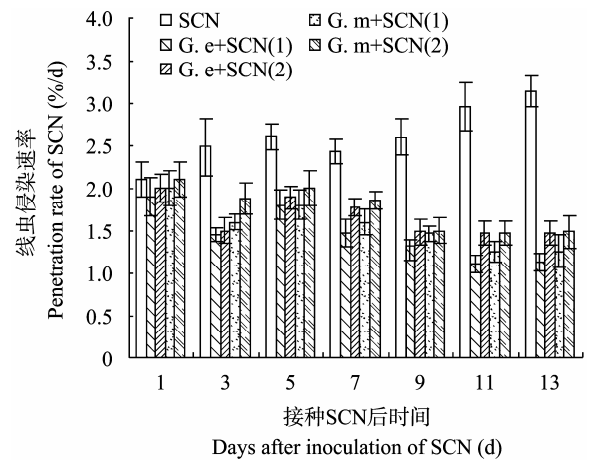


图 1 接种 AM 真菌对大豆胞囊线虫侵染速率的影响
Fig. 1 Effects of inoculation with AM fungi on infection rate of soybean cyst nematodes on soybean plants

POD 酶活性均得到了显著提高(图 2)。单接种 SCN 处理, 酶活性在第 5 天达到高峰, 而接种 AM 真菌后在同一室或不同室接种 SCN, 酶活性均在第 3 天达到高峰, 而且峰值高于单接种 SCN 处理。说明接种 AM 真菌 *G. m* 或 *G. e* 都提高了大豆根内 POD 活性。

2.2.2 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性变化: 接种 SCN 和 *G. m* 或 *G. e* 于同室或不同室处理的 PAL 酶活性均高于不接种对照; 先接种 AM 真菌后接种 SCN 的处理, PAL 酶活性提高的速度和程度都大于后者, 其中, AM 真菌与 SCN 接种于分根培养系统同一室时, PAL 酶活性只是在增加速度和数量上大于 AM 真菌和 SCN 接种于不同分室的处理, 但其变化规律基本一致(图 3)。

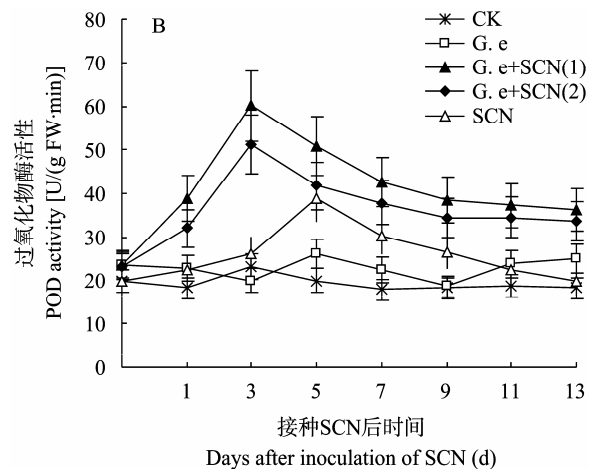
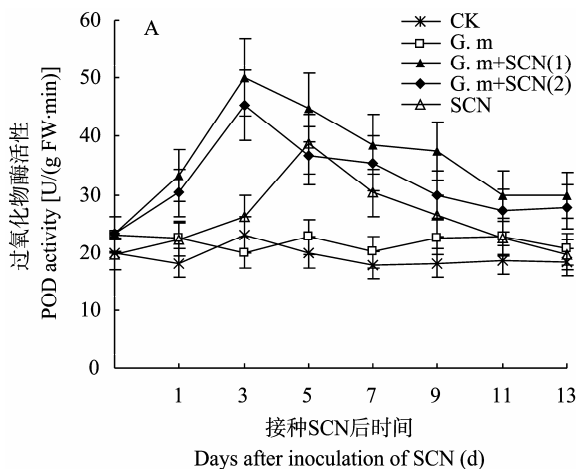


图 2 接种 AM 真菌和/或大豆胞囊线虫后大豆根内过氧化物酶活性变化

Fig. 2 Changes of POD activities in soybean roots after inoculated with AM fungi and/or SCN

Note: A: *G. m*; B: *G. e*. The same as below.

2.2.3 β -1,3-葡聚糖酶活性变化: 由图 4 可知, AM 真菌和 SCN 接种于同一室或不同室处理的 β -1,3-葡聚糖酶活性峰值, 均高于不接种对照或单接种 SCN 的处理。

2.2.4 几丁质酶活性变化: 接种 AM 真菌和 SCN 或单接种 SCN 处理的几丁质酶活性均高于不接种对照, 但单接种 SCN 处理的几丁质酶活性出现峰值后迅速下降, 第 13 天时下降到对照水平(图 5)。

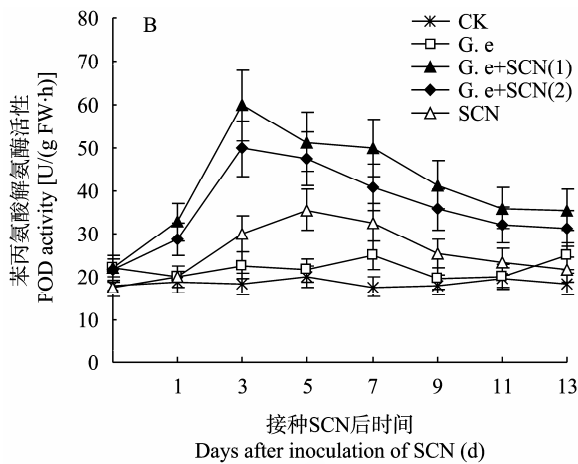
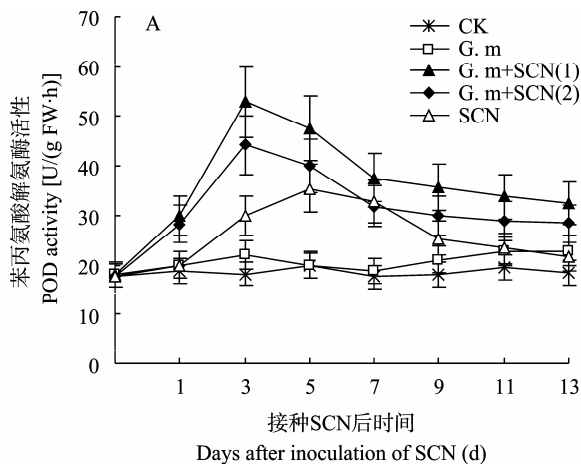


图 3 接种 AM 真菌和/或大豆胞囊线虫后大豆根内苯丙氨酸解氨酶活性变化
Fig. 3 Changes of PAL activities in soybean roots after inoculated with AM fungi and/or SCN

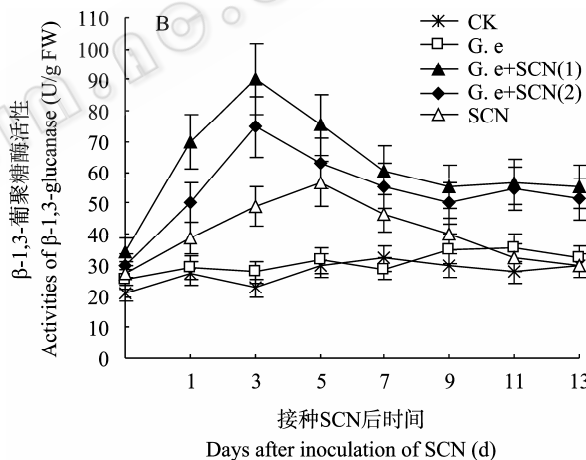
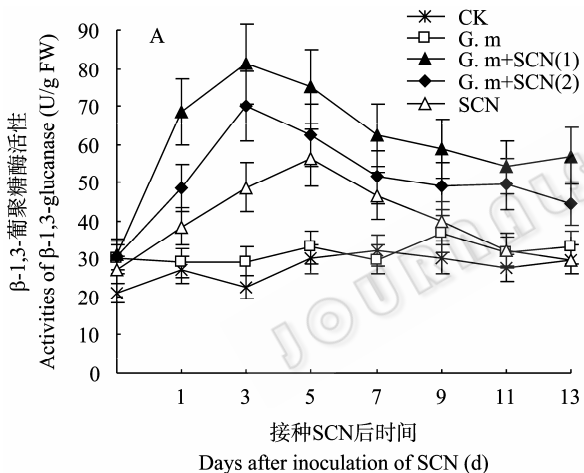


图 4 接种 AM 真菌和/或大豆胞囊线虫后大豆根内 β -1,3-葡聚糖酶活性变化
Fig. 4 Changes of β -1,3-glucanase activities in soybean roots after inoculated with AM fungi and/or SCN

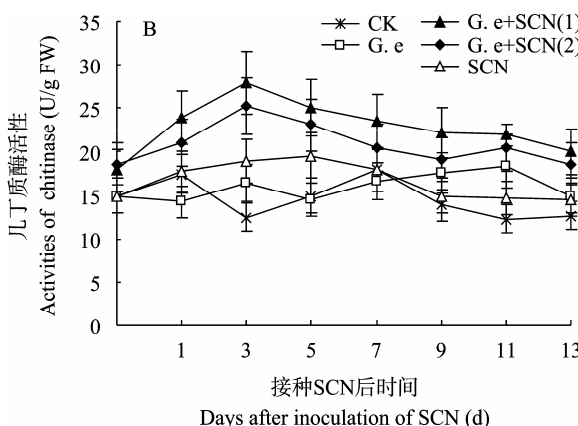
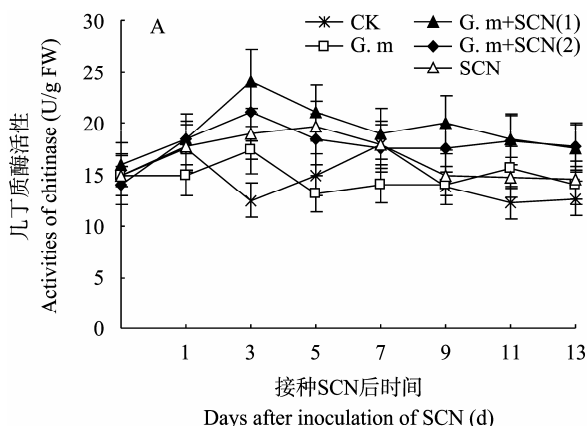


图 5 接种 AM 真菌和/或大豆胞囊线虫(SCN)后大豆根内几丁质酶活性变化
Fig. 5 Changes of chitinase activities in soybean roots after inoculated with AM fungi and/or SCN

3 讨论

分根培养系统试验结果表明, 将 SCN 与 AM 真菌接种于同一室或不同室, AM 真菌均能显著抑制线虫的发育、繁殖和线虫侵染速率, 表明 AM 真菌可能通过与 SCN 竞争侵染位点和光合产物, 并诱导大豆植株抗病性, 从而降低病害程度。在 AM 真菌诱导植物防御性酶发挥其活性的过程中, POD 活性的提高或者是由于合成了对病原物细胞有毒的产物或/和诱导植物细胞壁发生了改变, 形成物理屏障物, 引起细胞死亡和抑制病原菌的侵染, 从而参与了植物的抗病作用^[16]。Volopin^[17]发现根内球囊霉 (*G. intraradices* Schenck & Smith) 侵染植物根系的早期阶段, PAL 酶数量和活性均有升高现象, 然后又下降到无菌根菌侵染的对照水平, 甚至低于对照。这表明 AM 真菌能激活寄主的防御反应, 然后又被抑制。Garmendia 等^[18]研究辣椒先接种沙荒球囊霉 (*G. deserticola* Trappe, Bloss & Menge) 形成菌根后, 在第 7 天时没有检测到 PAL 活性发生变化, 甚至在对照植株中 PAL 活性降低(作者把原因归结为 pal 基因的高表达), 直到接种棉花黄萎病菌 (*Verticillium dahliae* Kleb) 侵染植株 14 d 后, PAL 活性才稍稍有所增加。本分根培养试验研究表明, AM 真菌在与植物共生后, 当受到 SCN 的侵染时 PAL 酶活性迅速升高, 且不同室处理与同室处理具有相似性, 进一步表明由 AM 真菌诱导的抗线虫反应不仅局限于 AM 真菌侵染区, 而且可能是系统性的。李海燕等^[19]认为 AM 真菌诱导的几丁质酶在抑制 SCN 侵染过程中起重要作用, 而 β -1,3-葡聚糖酶活性变化没有规律, 可能不起作用。本试验在预先接种 AM 真菌后, 在同一室或不同室接种 SCN, 其 β -1,3-葡聚糖酶活性上升的峰值与速度均高于其他处理, 表明 β -1,3-葡聚糖酶在 AM 真菌诱导的大豆抗胞囊线虫侵染过程中同样起着重要的作用, 产生这种不同结果的原因可能与 AM 真菌菌株或栽培条件及环境不同有关。对于这一点值得深入研究。吴海燕和段玉玺^[20]报道大豆受胞囊线虫侵染后, 抗病品种与感病品种根内均出现几丁质酶活性高峰, 并认为几丁质酶活性表达与大豆胞囊线虫的侵染密切相关。有研究表明, 几丁质酶活性的提高及快速诱导的确能提高大豆对南方根结线虫的抗性^[21]。本试验结果则支持了上述报道, 即 AM 真菌诱导的几丁质酶活性的快速提高

在大豆抗 SCN 病害中起重要作用。有趣的是, 先接种 AM 真菌后受到 SCN 侵染的植株根内 POD、PAL、 β -1,3-葡聚糖酶和几丁质酶这 4 种酶活性高峰均出现于第 3 天, 这是否与防御反应相关基因的表达和病程相关蛋白的同时积累有关^[22-23], 值得继续深入探讨。

我们认为摩西球囊霉和幼套球囊霉能够抵抗大豆胞囊线虫的侵染, 既能在同一室的根围局部与 SCN 竞争侵染位点, 又能对不同室的根系诱导产生防御性酶, 降低病害程度。这表明摩西球囊霉和幼套球囊霉抵抗 SCN 的效应既是局部的也是系统性的, 关于其分子作用机制有待深入探索。





参考文献

- [1] 刘润进, 陈应龙. 菌根学. 北京: 科学出版社, 2007: 1-447.
- [2] Hol WHG, Cook R. An overview of arbuscular mycorrhizal fungi-nematode interactions. *Basic and Applied Ecology*, 2005, 6(6): 489-503.
- [3] Siddiqui ZA, Akhtar MS. Effects of AM fungi and organic fertilizers on the reproduction of the nematode *Meloidogyne incognita* and on the growth and water loss of tomato. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43(5): 603-609.
- [4] Zhang LD, Zhang JL, Christie P, et al. Pre-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi suppresses root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) on cucumber (*Cucumis sativus*). *Biology and Fertility of Soils*, 2008, 45(2): 205-211.
- [5] Fox JA, Spasoff L. Interaction of *Heterodera solanacearum* and *Endogone gigantea* on tobacco. *Journal of Nematology*, 1972, 4(4): 224-225.
- [6] Franc L, Dropkin VH. *Glomus fasciculatum*, a weak pathogen *Heterodera glycines*. *Journal of Nematology*, 1985, 17(4): 470-475.
- [7] Liu XZ, Liu RJ, Qin ZL. Discovery of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi colonized in *Heterodera glycines* in China. *Acta Pedologica Sinica*, 1994, 31(suppl.): 230-233.
- [8] 李海燕, 刘润进, 束怀瑞. 丛枝菌根真菌与大豆胞囊线虫相互作用研究初报. *植物病理学报*, 2002, 2(4): 356-360.
- [9] Li HY, Yang GD, Shu HR, et al. Colonization by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus versiforme* induces a defense response against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in the grapevine (*Vitis amurensis* Rupr.), which includes transcriptional activation of the class III chitinase gene VCH3. *Plant and Cell Physiology*, 2006,

- 47(1): 154-163.
- [10] 李俊喜, 刘润进. AM 真菌丛枝发育在诱导植物抗病性中的作用初探. 青岛农业大学硕士学位论文, 2007.
- [11] Liu RJ, Luo XS. A new method to quantify the inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 1994, **128**(1): 89-92.
- [12] 王秋荣, 陈申宽, 闫任沛, 等. 呼伦贝尔盟大豆胞囊线虫病发生危害与综合防治技术研究. 内蒙古农业科技, 2001(6): 29-32.
- [13] 刘维志. 植物线虫学研究技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1995: 71-72.
- [14] 史益敏. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999: 128.
- [15] Boller T, Gehri A, Mauch F, *et al.* Chitinase in bean leaves: induction by ethylene, purification, properties and possible function. *Plant Pathology*, 1983, **157**(1): 22-31.
- [16] 补娟, 崔卫东, 罗明, 等. 接种丛枝菌根真菌对棉花生长和黄萎病的影响. 新疆农业科学, 2009, **46**(3): 549-555.
- [17] Volopin H, Phillips DA, Okon Y, *et al.* Suppression of an isoflavonoid phytoalexin defense response in mycorrhizal alfalfa roots. *Plant Physiology*, 1995, **108**(4): 1449-1454.
- [18] Garmendia I, Aguirreolea J, Goicoechea N. Defence-related enzymes in pepper roots during interactions with arbuscular mycorrhizal fungi and/or *Verticillium dahliae*. *BioControl*, 2006, **51**(3): 293-310.
- [19] 李海燕, 刘润进, 李艳杰, 等. AM 真菌和泡囊线虫对大豆根内酶活性的影响. 菌物系统, 2003, **22**(4): 613-619.
- [20] 吴海燕, 段玉玺. 几丁质酶与大豆抗胞囊线虫关系初步研究. 植物病理学报, 2004, **34**(6): 555-557.
- [21] Qiu J, Hallnamm J, Kokalis-Burelle L, *et al.* Activity and differential induction of chitinase isozymes in soybean cultivars resistant or susceptible to root-knot nematodes. *Journal of Nematology*, 1997, **29**(4): 523-530.
- [22] Gao LL, Knogge W, Delp G, *et al.* Expression patterns of defense-related genes in different types of arbuscular mycorrhizal development in wild-type and mycorrhiza-defective mutant tomato. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2004, **17**(10): 1103-1113.
- [23] Elsen A, Gervacio D, Swennen R, *et al.* AMF-induced biocontrol against plant parasitic nematodes in *Musa* sp.: a systemic effect. *Mycorrhiza*, 2008, **18**(5): 251-256.

征订启事

2011 年中科院微生物所期刊联合编辑部联合征订

	《微生物学报》月刊(每月 4 日出版), 单价 55.00 元, 全年定价 660 元。刊号: ISSN 0001-6209; CODEN WSHPA8。国内邮发代号: 2-504; 国外邮发代号: BM67。
	《生物工程学报》月刊(每月 25 日出版), 单价 65.00 元, 全年定价 780 元。刊号: ISSN 1000-3061; CODEN SGXUED。国内邮发代号: 82-13; 国外邮发代号: BM5608。
	《微生物学通报》月刊(每月 20 日出版), 单价 48.00 元, 年价 576 元。刊号: ISSN 0253-2654; CODEN WSWPDI。国内邮发代号: 2-817; 国外邮发代号: BM413。
	《菌物学报》双月刊(单月 15 日出版), 单价 80 元, 全年定价 480 元。刊号: ISSN 1672-6472; CODEN JXUUAЕ。国内邮发代号: 2-499; 国外邮发代号: Q723。
订阅	欢迎广大读者直接与本刊发行部联系订购, 我们将按期免费为您邮寄。
	汇款地址: (100101)北京市朝阳区北辰西路 1 号院 3 号中科院微生物所 B401
	收信人: 《 》编辑部; 电话: 010-64807521; E-mail: bjb@im.ac.cn
	请在附言处注明“订刊费”及所订期刊名称、年代、卷、期和数量。