

# 丛枝菌根真菌与土壤养分交互作用的生态效应研究

王晓英<sup>1,2</sup>, 王冬梅<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2 沃德兰特(北京)生态环境技术研究院 北京 100080)

**摘要:** 土壤养分影响 AM 真菌种属组成、AM 真菌的丰度、孢子数量、孢子密度以及频度; AM 真菌反过来影响宿主植物和土壤微生物及其群落多样性。在总结国内外相关研究成果基础上, 分析了土壤养分 N、P、K 以及土壤有机质等因子对 AMF 生长发育及群落多样性的影响, 不同 AMF 在不同土壤养分环境中对宿主植物的生长及 N、P、K 营养元素的吸收的影响, 以及 AMF 对土壤微生物及其群落的影响。最后提出了 AM 真菌与土壤交互作用的几个重要方向, 为今后开展菌根多样性及生物多样性研究提供依据。

**关键词:** 丛枝菌根真菌; 土壤养分; 交互作用; 生态效应

**中图分类号:** Q 949.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)06-0111-05

我国水土流失现象严重, 土壤侵蚀造成表土流失、土壤物理性质退化、土壤肥力退化、土壤微生物多样性下降、土地生产力丧失、以致生态环境趋于恶化, 难以恢复和更新。为了提高土地生产力, 加大了肥料的投入, 不合理施肥造成土壤生态质量明显下降, 表现为土壤板结、结构性变差、保水保肥性能、土壤肥力下降等现象日趋严重, 而且也包括化肥施用过程所引起的土壤环境污染的问题和土壤重金属含量过高等。人类对土壤生态系统的合理利用而造成的生态系统结构破坏及功能衰退, 从而导致土壤质量和土壤生产力下降等一系列生态环境恶化。针对土壤肥力退化的问题, 探讨恢复和重建退化土壤的途径已经成为生态环境可持续发展的重要内容。

菌根真菌是自然界中普遍存在的一种土壤微生物, 丛枝菌根(AM)是植物根系与丛枝菌根真菌(AMF)形成的共生体系, 菌根真菌进入皮层细胞产生囊和丛枝状结构, 世界上大多数植物可以和丛枝菌根真菌形成菌根共生体。由于菌根真菌是专性的共生真菌, 自身不能合成新的 DNA<sup>[1]</sup>, 只有在宿主植物的参与下才能进行正常的生长发育, 因此它依赖共生关系的建立从宿主植物中获取光合产物以维持生长和功能<sup>[2]</sup>。大量研究表明, AM 能增强宿主植物对土壤中 P、N、K 等营养元素的吸收,

促进宿主植物的生长, 改善土壤中的微生物群落状况, 在退化土壤恢复中起重要作用。AMF 与宿主植物形成共生体的能力及菌根效应的发挥与诸多环境因素密切相关, 土壤养分是其中重要因子之一。现将 AM 真菌与土壤养分的交互效应研究综述如下。

## 1 土壤养分对 AMF 生长发育的影响

丛枝菌根群体受土壤养分影响, 菌根的结构和功能也表现出不同的差异。受土壤养分中的 P、N、K 以及有机质含量的影响, 土壤中 AM 真菌种属组成、AM 真菌的丰度、孢子数量、孢子密度以及频度也存在一定的差异。研究发现一定量的养分可以提高土壤 AM 真菌生态系统的多样性, 但高养分投入能降低土壤中 AM 真菌孢子数量<sup>[3]</sup>, 明显减少菌根真菌种属的组成<sup>[4]</sup>。Menge 等<sup>[5]</sup>认为 AMF 发挥最大效率的土壤养分为: P 水平为 34  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , Zn 水平为 12  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , Mn 水平为 27  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 有机质含量为 3%。

### 1.1 P 对 AMF 生长发育的影响

土壤有效磷的含量直接影响丛枝菌根真菌的发育、产孢、分布、侵染等, 有效磷含量过高往往会抑制丛枝菌根真菌的生长发育和功能。其中侵染率受含磷水平的影响最为明显, 而侵染率的高低会影响菌根真菌从宿主植物获取碳水化合物能力, 进而影响到孢子萌发以及菌丝生长等; 含磷量低的土壤中菌根真菌比含磷量高的对外施肥更加敏感性, 增加 P 的投入量则减少菌根发育数量<sup>[6]</sup>。高磷土壤 AM 真菌对根系的侵染率明显低于其它低磷土壤, 在缺 P 土壤中增施 P 肥能增加 AM 的生长量。以每年 45  $\text{kg}/\text{hm}^2$  对 2 块试验地中施加 P 肥, 5 a 后 AMF 孢子的出现频率分别降低了 50%和 7%; 然而适度增施 P 肥(每年 5  $\text{kg}/\text{hm}^2$  和 15  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ), 不会影响

第一作者简介: 王晓英(1982-), 女, 山西广灵人, 硕士, 现主要从事工程绿化研究工作。E-mail: wxy1920@126.com。  
通讯作者: 王冬梅(1963-), 女, 河北保定人, 副教授, 现主要从事水土保持及工程绿化研究工作。E-mail: dmwang@126.com  
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30872075)。  
收稿日期: 2009-01-27

到孢子频度, 其稳定于一定范围<sup>[7]</sup>。王幼珊认为<sup>[8]</sup>, 土壤中速效磷含量在 10 mg/kg 左右时, 最有利于 *Glomus mosseae* 的生长和产孢子; Sasai 研究<sup>[9]</sup>表明, 土壤含 P 量高则不利于洋葱、番茄、胡萝卜、马铃薯菌根发育, 但菊花的菌根发育仍高达 64%。

## 1.2 N 对 AMF 生长发育的影响

长期高 N 养分能降低寄主植物根系侵染率、丛枝着生率、单位根长孢囊数和侵入点数。安秀娟<sup>[10]</sup>研究毛乌素沙地植物时发现, 有效 N 与孢子密度呈显著正相关, 而与孢囊侵染率呈显著负相关。Hayman<sup>[11]</sup>指出, 在温带土壤中添加氮肥(188 kg/hm<sup>2</sup>)对菌根的形成和发育有负面的影响, 未施氮肥的土壤, 菌根真菌孢子的数量比施氮肥土壤多 2~4 倍, 并且氮肥对菌根真菌的负效应比磷肥更明显。

## 1.3 K 对 AMF 生长发育的影响

有关钾营养元素对 AM 真菌群体结构影响的研究较少。仅见李登武<sup>[12]</sup>研究结果显示, 菌根的生长发育需要一定的钾, 施钾量为 0.375~1.125 g K<sub>2</sub>O/kg 土时, 有利于 AM 真菌侵染及共生体形成; 而有效钾水平较低或者较高时, 侵染率都较低。

## 1.4 有机质对 AMF 生长发育的影响

AM 真菌能够在有机质上扩殖, 土壤有机质含量对 AM 真菌的生长发育有一定的影响, 目前存在以下 2 种观点: 安秀娟<sup>[10]</sup>认为, 土壤有机质和孢子密度呈显著正相关。Muthukumar 和 Udaiyan<sup>[13]</sup>研究发现施用有机肥增加了根系丛枝菌根侵染率。Hodge<sup>[14]</sup>发现 AM 真菌不仅能在有机质丰富的环境中增加生物量, 还能加速有机质的分解并利用其中的养分。与不施有机肥的土壤相比, 长期施用有机肥的土壤上 AM 真菌的菌丝总长度较高, 菌丝的吸磷量较大<sup>[15]</sup>。在长期施用化肥后, 水稻根系失去了菌根共生, 但是经 5 a 连续施用有机肥后, 水稻根系又恢复了菌丝体形成<sup>[16]</sup>。在一定范围内 AM 的数量随着有机质含量的升高而增多, 但长期高有机质土壤环境能降低 AMF 对寄主植物根系的侵染率和丛枝着生率、孢囊数和侵入点数。彭岳林等<sup>[17]</sup>对西藏高原中部草地调查表明土壤有机质含量与寄主植物根际土壤 AM 真菌孢子密度呈负相关。随有机质含量增高而减少, 但是在有机质含量小于 1.5% 时的出现率均稍低于 1.5%~3.0% 时的出现率。张美庆等<sup>[18]</sup>认为有机质对 AM 真菌的某些分布存在差异, 对属的分布没有影响。如 *Glomus* 在有机质含量 10% 以上的土壤中较少, 但种则分布不一; *Glomus mosseae* 随有机质含量的下降而出现率升高, 而 *Glomus* sp. 9 则恰恰相反, 随有机质含量降低而降低。不同的 AM 真菌对土壤有机质含量有不同反应: 地球囊霉的孢子数随含量增高而减少; 台湾球囊

霉和弯丝硬囊霉仅在土壤有机质含量小于 1.5% 时数量较少, 蜜色无梗囊霉反应不敏感<sup>[19]</sup>。

## 2 土壤养分对 AMF 接种效应的影响

AM 真菌影响植被的多样性与生产力的关系, 没有菌根真菌参与的生态系统中植被的物种丰富度与生产力呈线性正相关, 而在 AM 真菌参与的生态系统中, 植被的物种丰富度与生产力呈指数正相关, 同时生产力的大小与菌种有关<sup>[19]</sup>。菌根侵染是根系菌根化的重要指标, 由于菌根真菌和根系共同生长的介质是土壤, 因此土壤中的诸多因素影响着菌根真菌对植物的侵染, 其中土壤肥力是最重要的影响因素, 不同土壤中 VA 菌根真菌的数量和有效性不完全相同, 以致这些菌根真菌对植物侵染不同, 从而直接影响接种菌根后可能产生的效应。利用 AMF 可有效改善土壤肥力及结构状况, 从而促进有益营养元素 P、N、Ca、Fe 的吸收<sup>[20]</sup>。

### 2.1 P 对宿主植物生长及营养吸收的影响

土壤中的有效 P 含量直接影响到 AM 真菌的发育和对植物的接种效应, 这些差异与 AM 真菌的耐肥性不同还有一定的关系。大多数观点认为 AM 真菌与植物共生最佳状态需要一个最佳的土壤磷营养环境, 低磷和高磷环境都不利于菌根侵染<sup>[21]</sup>。

菌根的效应受土壤含 P 量的影响, 在低 P 水平下, 尤其在水分胁迫的情况下, 由于菌根增加了有效吸收面积, 菌丝能伸展到根系难以到达的土壤小孔隙或土壤有机质中吸收磷素, 植物通过菌丝扩大了吸收面积或是菌丝分泌的螯合物促进了根际难溶态磷的溶解, 或是改变了寄主根的吸收特性, 促进了 P 向地上部分的输送, 提高了植物对难溶性磷和有机磷的利用, 增加 P 吸收的效应显著提高植株生长、干物质重<sup>[22]</sup>。菌根侵染后, 当土壤中 P 含量达到一定程度后, 随着土壤 P 水平的提高而下降, 这是由于高 P 条件下, 植物有足够的 P 吸收不需要 AM 真菌根为菌丝从土壤中吸取额外的 P, 所以接种 AM 并不能增加植株的生长, 而且随着土壤中 P 含量的增加, 虽然提高植株中的磷水平但却降低了菌根侵染率, 寄主对菌根的依赖性逐渐降低<sup>[23]</sup>, 甚至 AM 真菌与植物之间就形成一种寄生关系<sup>[24]</sup>, 根系能吸收到的养分较多, 菌丝吸收的养分则相对较少, 抑制菌根菌的侵染致使菌根的增产效益很低。此外, 不同的菌株对 P 的耐性不同, *G. mosseae* 在施 P(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 肥量达到 480 mg/kg 时仍能增加植株 P 含量, 表现出较强的耐 P 性<sup>[24]</sup>。

### 2.2 N 对 F 宿主植物生长及营养吸收的影响

AMF 可以促进植物对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和氨基酸各种形态氮素的吸收, 菌丝吸收和传递 N 素的能力因菌种和 N 素形态而异<sup>[29]</sup>。接种能增加植株含 N 量、豆科结瘤数、固氮酶活性和固氮量<sup>[127]</sup>, 改善植物的 N 素营养, 提

高生物产量;但是土壤含氮量高则会对植物造成伤害。

贺学礼等<sup>[28]</sup>研究认为 AM 真菌与氮肥对烤烟 N 素累积与分配有一定的影响,随着施氮量的增加,未接种株叶总重和总 N 量增加,接种 AM 真菌后,在施 N 量为 0.2 g/kg 时叶总重和总 N 量达到最大值后开始下降,随着施 N 量增加到一定程度,烟叶产量开始下降。Holo Jainer<sup>[29]</sup>等人发现土壤中含氮量过大时,苏格兰松的根冠比下降,高浓度氮素会对菌根植物造成伤害,在超微结构上,出现细胞线粒体肿胀,细胞质分解等现象,且氮的用量越大,伤害越严重。

### 2.3 K 对宿主植物生长及营养吸收的影响

接种 AM 真菌能明显减轻缺钾造成的代谢紊乱,促进代谢正常进行,表现在保护酶系统活性上升,有更强的能力清除自由基使植物正常生长,延长生育期,防止早衰<sup>[30]</sup>。在低钾土壤或施钾量较低条件下,接种 AM 真菌后形成的根外菌丝扩大了宿主植物根系的吸收面积,促进了根系对根际外钾素的吸收,增加了宿主体内含钾量,改善了宿主体内养分状况,从而增加了宿主植物的生物量。李登武等<sup>[31]</sup>研究表明不同施钾水平下,AM 真菌宿主植物产量的影响不同,施钾量为 67.5 ~ 101.25 kg/hm<sup>2</sup> 时,接种每株烟叶单株产量、每公顷产量最高,且超过了未接种施钾量 135 kg/hm<sup>2</sup> 的植株产量;同时接种提高了每公顷产值和植株的品质比例。

### 3 AMF 对土壤根际微生物群落的影响

土壤微生物是有机质的分解者,植物将光合产物以根系分泌物和植物残体形式释放到土壤,供给土壤微生物碳源和能源;而微生物则将有机养分转化成无机养分,以利于植物吸收利用。因此,土壤微生物是土壤生物特性的重要组成部分,是土壤微环境与有机物质循环转换枢纽,对植物生长发育起着重要作用。土壤微生物群落结构和组成的变化不仅直接影响土壤生态系统功能的发挥,而且也可以指示环境的变化,土壤微生物种群结构是表征土壤生态系统群落功能和稳定性的重要参数。因此,通过研究环境微生物群落结构和多样性的动态变化,可以为优化群落结构,调节群落功能和发现新的微生物功能类群提供可靠的依据。

菌根真菌对根际细菌群落结构的影响表现在某些细菌种群数量的增加或减少,根际微生物优势种群组成的明显改变,乃至某些新的细菌种群的出现。AMF 接种到甘蔗根系后,可分离的土著真菌从 22 种减少到 9 种,减少的土著真菌大都属于致病性真菌<sup>[32]</sup>。宋福强等<sup>[33]</sup>同样证明,菌根真菌仅对根部土壤的细菌和放线菌数量有明显的促进作用,真菌数量则稍有下降,而对其他真菌的数量没有影响。应用 PCR-DGGE 技术研究发现,接种 AM 真菌和不接种的玉米根际和根表土壤的细

菌群落结构具有显著差异,而且接种不同种类的 AMF 间也存在显著差异<sup>[19]</sup>,说明不同种类的 AMF 对土壤根际细菌的群落组成具有不同的影响。菌根真菌侵染后,AM 能够提高土壤中磷溶细菌、菌根促生菌和土壤团聚体促生菌等有益微生物的活性,并能提高豆科植物根瘤菌的固氮能力和活性<sup>[34]</sup>。蔡晓布等<sup>[35]</sup>研究表明,接种处理促进了土壤中放线菌、真菌、解磷细菌的生长和繁殖,但不同的 AMF 对土壤各类微生物数量增幅明显不同。毕银丽等<sup>[36]</sup>研究结果表明,AM 真菌能够显著地促进根际土壤的细菌和放线菌数量的增加,对真菌数量也略有促进;不同的接种菌根方式对于根际土壤微生物数量的促进作用也不相同,混合接种的促进作用要优于单独接种 *G. mosseae* 和 *G. etunicatum* 的处理。

### 4 结论

丛枝菌根真菌与土壤养分交互作用主要有 3 方面。适量的土壤养分促进了丛枝菌根真菌的生长发育,提高土壤 AM 真菌生态系统的多样性;过高的土壤养分则抑制了菌根生长发育及菌根侵染。土壤养分尤其是有效磷的含量直接影响丛枝菌根真菌的发育、产孢、分布、侵染等,土壤速效磷含量过高往往会抑制丛枝菌根真菌的生长发育和功能。

AM 真菌与土壤养分的交互作用表现在植物上就是宿主植物的生长状况及植物对 P、N、K 等的吸收,表现在土壤上就是土壤微生物及其群落的变化。当 AM 真菌处于最佳的土壤养分环境中时,丛枝菌根能促进宿主植物生长及对营养元素 N、P、K 等的吸收。

根际微生物数量的持续增长,促进了土壤微生物的繁殖,显著影响微生物的生物量,菌根的生物多样性影响根际微生物群落的数量和多样性,改善了土壤微生态环境,使土壤养分得到了积累,改变了土壤生物性质,提高了土壤的生产力,使得植物生产力提高。

### 5 展望

丛枝菌根真菌生物学特性各异,资源丰富,广泛分布于各种生态环境。AM 真菌的生态、生理学方面已有大量的研究,菌根生物技术在修复退化土壤和生态系统,增强植物抗逆性和耐性等方面也取得了显著的效果,丛枝菌根真菌的价值已经逐渐被人们所认识。

目前对不同土壤养分管理下的 AM 真菌群落多样性已经做了大量的调查,关于接种单一菌根真菌对植物生长效应以及其对土壤不同肥力耐性也做了部分研究,但对 AM 真菌群落的接种效应还尚未展开。进一步开展 AM 真菌群落的接种效应,研究 AM 真菌群落对土壤不同营养元素吸收的影响,运用分子手段开展菌根多样性和土壤微生物多样性研究,可以揭示土壤环境中营养元素迁移转化能力,从群落水平上了解和评价生物修复

和生物处理技术的机理与效果,同时为控制和优化土壤微生物群落结构,改善土壤微生态环境条件的机理提供依据,对减少化肥污染、维持生态稳定性、增加生物多样性具有重要的实际意义。此外,筛选不同生态环境下,尤其是不同磷、氮养分水平下的优良丛枝菌根真菌群落,对植物多样性乃至生态环境可持续发展具有重要意义。

### 参考文献

- [1] Buggraaf A J, Beringer J E. Absence of nuclear DNA synthesis in vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in vitro development[J]. New phytologist, 1989, 111: 25.
- [2] 李晓林,姚青. VA 菌根与植物的矿质营养[J]. 自然科学进展, 2000, 10(6): 524.
- [3] Bhadalung N N, Suwanarit A, Dell B et al. Effects of long-term NP-fertilization on abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi under a maize cropping system[J]. Plant and Soil, 2005, 270(1): 371-382.
- [4] 张旭红,朱永官,王幼珊,等. 不同施肥处理对丛枝菌根真菌生态分布的影响[J]. 生态学报, 2006(9): 3081-3087.
- [5] Menge J A, Jarrell W M, Labanasukas C K, et al Predicting mycorrhizal dependency of troyer orange on Glomus fasciculatus in california citrus soils and nursery mixes [J]. Soil Sci Soc Am, 1982, 46: 762-768.
- [6] Tawaraya K, Satio M, Morioka M, et al. Effect of phosphate application to arbuscular mycorrhizal onion on the development and succinate dehydrogenase activity of internal hyphae [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1994, 40(4): 667-673.
- [7] Martensson A M, Carlgren K. Impact of phosphorus fertilization on VAM diaspores in two Swedish long-term field experiment[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1994, 47(4): 327-334.
- [8] 王幼珊,刘相梅,张美庆,等. 盆栽基质及营养液对 AM 真菌接种剂繁殖的影响[J]. 华北农学报, 2001, 16(4): 81-86.
- [9] Sasai K. Infection of Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi to plants and spore numbers in cultivated soil[J]. Scientific reports of the Miyagi Agriculture College, 1992, 40: 1-10.
- [10] 安秀娟,贺学礼. 土壤因子对毛乌素沙地豆科植物 AM 真菌侵染的影响[J]. 河北农业大学学报, 2007, 30(1): 45-49.
- [11] Hayman D S. The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility [M]. Endomycorrhizas Academic Press, London, 1975, 495-509.
- [12] 李登武,贺学礼,余仲东. 施钾量与 AM 真菌接种效应的关系[J]. 西北植物学报, 2002, 22(4): 889-893.
- [13] Muthukumar T, Udiyan K. Influence of organic manures on arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In relation to tissue nutrients and soluble carbohydrate in roots under field conditions[J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 31(2): 114-120.
- [14] Hodge A. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza [J]. FEMS Microbiology Ecology, 2000, 32: 91-96.
- [15] 苏友波. VA 菌根对三叶草和玉米根际磷酸酶活性的影响[D]. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2000.
- [16] Hartman A, Schmid M, Wenzel w, Hinsinger Ph. Rhizosphere 2004-Per-

- spectives and Challenges-A Tribute to Lorenz Hiltner [D]. Munich Germany: GSF-National Research Center for Environment and Health, 2005.
- [17] 彭岳林. 影响西藏高原草地植物 AM 真菌分布的环境因子研究[J]. 农业网络信息, 2006(6): 155-157.
- [18] 张美庆,王幼珊,张驰. 我国北方 VA 菌根真菌某些属和种的生态分布[J]. 真菌学报, 1994, 13(3): 166-172.
- [19] 张美庆,王幼珊,邢礼军. 环境因子和 AM 真菌分布的关系[J]. 菌物系统, 1999, 18(1): 25-29.
- [20] Sirvastava A K, Singh S, Mara R A. Organic Citrus soil fertility and plant nutrition[J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2002, 19(3): 5-29.
- [21] 刘仕平,张玲琪,李成云,等. VA 菌根营养生理研究概况及其应用前景[J]. 西南农业学报, 2003, 16(2): 93-97.
- [22] 张福锁. 植物营养的生态生理学和遗传学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [23] Ortas I, Ortakci D, Kaya Z, et al. Mycorrhizal dependency of sour orange in relation to phosphorus and zinc nutrition[J]. Journal of Plant Nutrition, 2002, 25(6): 1263-1279.
- [24] Johnson N G, Graham J H, Smith F A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum[J]. New Phytologist, 1997, 135: 375-385.
- [25] 王森焱,刘树堂,刘润进. 长期定位施肥土壤中 AM 真菌耐磷性的比较[J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 1056-1059.
- [26] 李侠,张俊伶. 丛枝菌根根外菌丝对不同形态氮素的吸收能力[J]. 核农学报, 2007, 21(2): 195-200.
- [27] 郑伟文,宋亚娜. VA 菌根真菌对植物养分吸收与传递的影响[J]. 福建农业学报, 2000, 15(2): 50-55.
- [28] 贺学礼,王东雪,赵丽莉. AM 真菌和施氮量对烟叶生长和部分矿质元素含量的影响[J]. 核农学报, 2006, 20(2): 154-158.
- [29] Hooker J E, Jaizme-Veg M, Atkinson D. Biocontrol of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. In: Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems [D]. Basel, Switzerland: Birkhauser-Verlag, 1994, 191-200.
- [30] 李英鹏,孙渭,赵莉丽,等. 钾胁迫条件下 AM 真菌对烟草生长和叶片保护酶系统的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 51-53.
- [31] 李登武,贺学礼,王冬梅. 施钾和 AM 真菌对烤烟产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2002, 30(5): 63-67.
- [32] 宋福强,杨国亭,孟繁荣,等. 丛枝菌根化大青杨苗木根际微域环境的研究[J]. 生态环境, 2004, 13(2): 211-216.
- [33] Marschner P, Baumann K. Changes in bacterial community structure induced by mycorrhizal colonization in split-root maize[J]. Plant and Soil, 2003, 251: 279-289.
- [34] 石兆勇,魏艳丽,王发园. 地球上最广泛的共生体-丛枝菌根[J]. 生物学通报, 2007, 42(8): 22.
- [35] 蔡晓布,冯固,钱成,等. 丛枝菌根真菌对西藏高原草地植物和土壤环境的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 63-71.
- [36] 毕银丽,任婧. 接种菌根对根际微生物群落和磷营养的影响[J]. 能源环境保护, 2007, 21(3): 25-28.

# 植物线粒体热激蛋白的生物学功能

冯海霞, 郭尚敬, 李妹芳, 孟庆杰, 王光全

(聊城大学 生命科学学院, 山东 聊城 252059)

**摘要:** 线粒体热激蛋白具有分子伴侣活性, 与植物耐热性和耐冷性有关, 对逆境条件下植物氧化磷酸化的电子传递具有保护作用。现就植物线粒体热激蛋白生物学功能的研究进展作简要介绍, 并对今后此领域的研究作以展望。

**关键词:** 线粒体; 热激蛋白; 耐热性; 耐冷性; 电子传递

**中图分类号:** Q 946.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)06-0115-04

热激蛋白(Heat shock protein, HSP)是生物体受到不良环境因素(如高温、缺氧、饥饿、重金属离子等)影响时诱导合成的一类应激蛋白<sup>[13]</sup>。多数学者认为 HSP 的出现与细胞耐热潜力的发挥有关<sup>[45]</sup>。根据分子量的大小, 将其分为高分子量热激蛋白(分子量> 50 kD)和低分子量热激蛋白(分子量< 50 kD)两大类。植物热激蛋白的显著特点是小分子量热激蛋白(small heat shock protein, sHSP)相当丰富, sHSP 广泛存在于植物细胞膜、细胞质、叶绿体、线粒体等组织中。sHSP 在多数生物体中由高温诱导产生。家族成员的分子量从12 ~ 42kD

不等, 在 C 末段有约 100 个氨基酸的保守序列。高等植物的 sHSP 种类繁多, 它们至少属于 5 种保守的核基因家族, 包含 2 种截然不同的种类: 细胞质 I 类 sHSP、细胞质 II 类 sHSP 和 3 种细胞器 sHSP, 即叶绿体 sHSP(CP-sHSP)、线粒体 sHSP (MTsHSP)和内膜 sHSP(一般指的是内质网 sHSP 即 ERsHSP)。细胞器 sHSP 似乎对植物有很独特的作用<sup>[9]</sup>。

MTsHSP 是定位于线粒体中的一类 sHSP, 它的研究起步比细胞质 sHSP 和 CPsHSP 晚。近年来的研究发现, MTsHSP 与 CPsHSP 的结构相似, 在 C 末端附近有 2 个同源保守区, 其中一个是在 C 末端“热休克区域”, 另一个是约 70%的氨基酸同源保守区域<sup>[7]</sup>。MTsHSP 除了具有一般 sHSP 所具有分子伴侣功能外<sup>[8]</sup>, MTsHSP 在植物应对外界环境温度变化时起一定的作用, 如热激时 MTsHSP 可以提高植物的耐热性<sup>[7,9-10]</sup>。刘箭和庄野真理子<sup>[11]</sup>发现低温能够诱导 MTsHSP 在番茄叶片中表达。此外, MTsHSP 可以保护氧化磷酸化过程中的电子传递<sup>[9]</sup>。

**第一作者简介:** 冯海霞(1983-), 女, 硕士, 研究方向为植物分子遗传学。E-mail: fenghaixiadoctor@163.com.

**通讯作者:** 郭尚敬(1970-), 男, 山东聊城人, 博士, 副教授, 现从事植物分子遗传学研究工作。E-mail: guoshangjing@lcu.edu.cn.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(30671242)。

**收稿日期:** 2009-01-27

## The Study of Ecological Effect of the Interaction between AMF and Soil Nutrient

WANG Xiao-ying<sup>1,2</sup>, WANG Dong-mei<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Water and Land Eco-Environment Technology Institute, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Soil nutrient influenced genus, species richness, frequency and density of AMF. Meanwhile host plant, soil microorganism and edaphon was affected by AMF. The research results summarized on the interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and soil nutrient. This paper analyzed impacts of soil nutrient factors such as nitrogen, phosphorus, kalium and organic matter on growth and community diversity of AMF. It was analyzed the influence on growth and nutrient absorbed of host plant inoculation with different AMF in different soil nutrient environment, and the impact of soil edaphon with AMF. Finally, several important research topics were suggested on the interaction between AMF and soil, they could form the basis for the further research on AM diversity and biology diversity.

**Key words:** Arbuscular mycorrhizal fungi; Soil nutrient; Interaction; Ecological effect