

# 盐胁迫下丛枝菌根真菌对植物影响的研究现状与发展趋势

高 崇, 曾 明, 牛 琳 琳, 周 林 军, 王 秀 琪

(西南大学 园艺园林学院, 南方山地园艺学教育部重点实验室, 重庆 400715)

**摘 要:**综述了近年来国内外在丛枝菌根(AM)真菌提高植物抗盐性方面的研究进展。从植物生理的角度,对盐胁迫下 AM 真菌提高宿主植物抗性的作用机制进行了讨论,同时提出了 AM 真菌在提高植物抗盐性和实践应用方面值得深入探讨的问题。

**关键词:**丛枝菌根(AM)真菌;盐胁迫;作用机制;发展趋势

**中图分类号:**Q 949.32 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)10-0180-05

“菌根”(Mycorrhiza)一词是由德国的植物生理学家、森林学家 Frank 于 1885 年首创,至今已有 100 多年

**第一作者简介:**高崇(1987-),男,在读硕士,研究方向为微生物与植物营养。E-mail:gaochong114118@163.com.

**责任作者:**曾明(1963-),男,博士,教授,现主要从事果树生态生理和果树菌根技术等研究工作。E-mail:zengming@swu.edu.cn.

**基金项目:**国家梨产业技术体系资助项目(CARS-29-36);国家梨产业技术体系重庆试验站资助项目(nycyt-29-34);国家农业部标准园建设技术支撑计划资助项目。

**收稿日期:**2012-12-21

的研究历史<sup>[1]</sup>。作为自然界中普遍存在的一种植物共生现象,菌根是土壤中高等植物根系与菌根真菌形成的一种互利合作共生体。菌根在促进土壤结构、植物养分与生长、元素生物地球化学循环和陆地生态系统结构与功能等方面具有重要作用<sup>[2]</sup>。根据形态结构的不同,菌根可分为丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)、浆果鹃类菌根(Arbutoid mycorrhiza)、外生菌根(Ectomycorrhiza, EM)、欧石楠类菌根(Ericoid)、石晶兰类菌根(Monotropoid mycorrhiza)、兰花菌根(Orchid mycorrhiza)、内外生菌根(Ectendotrophic mycorrhiza) 7 类。其

[68] 袁小环,段留生,孙璐,等. 4 种宿根花卉北京地区水分蒸散规律与节水灌溉[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(6): 1-5.

[69] Borin M. Irrigation management of processing tomato and cucumber in environments with different water table depths [J]. Acta Horticulturae, 1990, 267: 85-92.

[70] Farias M F de, Saad J C C, Boas R L V. Commercial quality of pot chrysanthemum, cultivar Puritan, irrigated at different substrate water tension in a greenhouse [J]. Irrigation, 2003, 8(2): 160-167.

[71] Farias M F de, Saad J C C, Boas R L V. Irrigation schedule in pot chrysanthemum, cultivar Rage, grown in greenhouse [J]. Engenharia-Agricola,

2004, 24(1): 51-56.

[72] Pelter G Q, Mittelstadt R, Leib B G. Effect of water stress at specific growth stages on onion bulb yield and quality [J]. Agricultural Water Management, 2004, 68: 107-115.

[73] Blom Zandstra M, Metselaar K. Infrared thermometry for early detection of drought stress in Chrysanthemum [J]. Hort Science, 2006, 41(1): 136-142.

[74] 李锦馨. 地被菊在不同水分胁迫下生长状况研究[J]. 宁夏农林科技, 2007(2): 20-21.

## Advances Researches on the Effects of Water on Crops Growth and Development Simulation Model

DONG Yong-yi, XU Shou-jun, WANG Cong, GUO Yuan, GAO Cai-ting

(College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028042)

**Abstract:** Crop growth model is a powerful tool in crop production precise management and intelligent decision-making. Present situation and application of the effects of water on crops growth and development simulation models were discussed in this paper. Simulation models application status in equipment crops were also elaborated, respectively from the effects of water on leaf area, photosynthesis, dry matter production and distribution, product quality development simulation and quality simulation four aspects to carry on the summary, and finally the problems existing in the effects of water on crops growth and development simulation model research were pointed out.

**Key words:** water; crops; growth and development; simulation model

中,丛枝菌根和外生菌根属于可与农业中绝大多数谷类、蔬菜、水果、药材和花卉等共生的最普遍且最有经济价值的两大类菌根<sup>[3]</sup>。

在我国,盐渍化土地约占有  $9.99 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ,且分布较为广泛,覆盖了 23 个省、市、自治区<sup>[4]</sup>。由于自然和人为因素的影响,每年盐碱化和次生盐碱化程度仍在不断加剧。因此,如何提高植物的耐盐能力及改良利用盐碱地,已经成为国内外急需解决的重大课题。在上述菌根真菌中,以丛枝菌根真菌分布最广,研究也较多,尤其近年在国内外开展了许多利用 AM 真菌与植物的互惠共生关系来增强植物在盐碱土壤中的适应力的研究,这些研究表明,AM 真菌在提高植物耐盐性和盐碱地改良方面有着非常重要的作用<sup>[5-9]</sup>。

## 1 丛枝菌根在盐胁迫下的反应

### 1.1 盐碱地 AM 真菌的多样性和分布

AM 真菌作为一类专性共生多核真菌,其多样性在一定程度上受到植物多样性的影响<sup>[10]</sup>。在自然盐碱地中,AM 真菌的种类和分布更多的依赖于当地宿主植物的种类组成<sup>[11]</sup>。王发园等<sup>[11]</sup>对黄河三角洲盐碱地域部分优势植物进行调查,分离到 4 个 AM 真菌属,共 24 个种,其中 *Glomus* 和 *Acaulospora* 属出现的频度和相对多度较高,*G. mosseae* 又是所有种中最高的。而对内蒙古盐碱地的研究表明,*G. geosporum* 和 *G. versiforme* 是该地区的优势种<sup>[12]</sup>。这些结果可能是由于 AM 真菌在各盐碱区域的寄主植物种类不同所引起的。过去认为的一些在自然条件下不能形成菌根的植物,经过研究被证明在盐害环境下可以形成菌根,如:藜科(*Chenopodiaceae*)、白花丹科(*Plumbaginaceae*)及莎草科(*Cyperaceae*)植物<sup>[12]</sup>。

### 1.2 盐胁迫对 AM 真菌生长发育的影响

1.2.1 对 AM 真菌孢子的影响 AM 真菌的孢子数量主要是由宿主植物及自身产孢的生物学特性来决定,而 AM 真菌的孢子密度也会受到宿主植物根部形态结构及根系分泌物种类、性质和数量的影响<sup>[12]</sup>。在高盐度土壤中,多数寄主植物及菌根本身会受到盐害机制影响,从而抑制 AM 真菌孢子的萌发及初级芽管的伸长,使孢子数量减少,进而抑制了菌根形成。但国外也有研究表明<sup>[13]</sup>,提高盐胁迫水平后,土壤中 AM 真菌孢子数量反而得到促进,这可能是由于自然盐渍化土壤中除了 NaCl 外,还存在着其它不同盐类,与人工模拟试验中的胁迫环境存在差异。

1.2.2 对 AM 真菌菌丝生长的影响 菌根中的菌丝体能够有效提高寄主植物对营养物质及水分的吸收,加强土壤和寄主植物的联系,是构成共生体互惠关系的重要通道。不同 AM 真菌的菌丝生长受盐碱度影响程度也存在差异。大量的研究表明,AM 真菌的菌丝生长受到 NaCl 不同程度的抑制,在菌丝生长期加入 NaCl 会抑制

菌丝分支,减缓生长,降低菌根的侵染范围。Estaun<sup>[14]</sup>、Hirrel<sup>[15]</sup>发现盐渍条件下 AM 真菌菌丝生长量减少,土壤中菌根侵染范围降低。

### 1.3 盐胁迫对 AM 真菌侵染率和菌根形成的影响

菌根侵染率不仅是描述 AM 真菌侵染植物根系能力的指标,也是反映植物受真菌侵染和菌根形成程度的标准。随着盐胁迫强度增大,AM 真菌的孢子萌发受到抑制或延缓,并且阻碍了菌丝生长,这些都间接影响了菌根的形成,进而影响了侵染率<sup>[16]</sup>。Al-karaki 等<sup>[16]</sup>进行的盆栽试验证明,在其它因素相同的条件下,随着土壤盐度的提高,菌根侵染率越来越低。当土壤盐度提高至 7.1 ds/m 时,菌根的侵染率降低到 27.0%。

许多试验证实,盐度对植物的影响远比对真菌影响更为重要,植物光合产物减少影响菌丝生存和发展,间接减少了菌根的总量。用盐溶液处理接种了 AM 真菌的果树,在盐胁迫发生前菌根很快形成;用盐处理 8 周后的桔橙幼苗,菌根在 10 周后开始形成,说明盐分在菌根形成初期有重要的作用<sup>[17]</sup>。

## 2 AM 真菌对盐胁迫下植物的影响

### 2.1 对植物矿质元素吸收的影响

AM 真菌能够提高植物抗盐性,与其帮助植物吸收更多的矿质元素有很大关系,特别是磷元素。菌根不仅提高了植物对可溶性磷的吸收,同时也促进了植物对有机磷和难溶性磷的利用,尤其是在磷元素匮乏的生境下<sup>[18]</sup>。有研究证明,AM 真菌与植物形成共生体后,植物自身的吸收能力降低,而主要依靠真菌菌丝提供磷酸盐。Mohanmad 等<sup>[19]</sup>发现,在不额外加入磷源条件下,接种 AM 真菌植株中的 P 元素含量要高于未接种植株;而在加入额外磷源条件下,接种与未接种植株具有相同的 P 含量。唐振尧等<sup>[20]</sup>还认为菌根增强了土壤中磷酸酶的活性,使植株增加对磷的吸收。

AM 真菌能显著增加植物对土壤中 P、Zn 和 Cu 的吸收,对 N、K、Mn、B 和 S 等元素的吸收也有一定的作用。Ojala 等<sup>[21]</sup>研究发现,在 NaCl 胁迫下,接种 AM 真菌后的洋葱,P、K、Mg、Zn 和 Fe 的吸收及含量均高于不接种植株,与 Daei 等<sup>[9]</sup>的研究结果相符。Rabie 等<sup>[22]</sup>也观察到,在盐胁迫下菌根植物能吸收更高比率的 K,相比较未接种植株。王发园等<sup>[11]</sup>研究表明,接种 AM 真菌促进了海州香薷中根部向地上部 Cu 转运,增加了地上部 Cu 的吸收。林智<sup>[23]</sup>报道了接种 AM 真菌后茶树叶片的 K、Fe、Cu 的含量显著高于对照。

### 2.2 对植物水分状况的影响

一般认为,盐胁迫下接种 AM 真菌可以明显改善植株水分状况,提高根系获取水分的能力,以对抗胁迫造成的植物生理干旱,从而提高植物耐盐性。冯固等<sup>[24]</sup>研究表明,在相同盐处理下,玉米接种 AM 真菌后的叶片水势显著高于未接种植株,表明盐胁迫条件下,接种 AM

真菌改善了其水分状况。分析其原因可能有二方面,一是真菌菌丝直接吸收的水分缓解了盐胁迫下植株的生理干旱<sup>[25]</sup>;二是真菌通过增加对 P 的吸收间接的提高了根系活力、导水率等<sup>[26]</sup>。在抵抗盐胁迫过程中,菌根增加植物水分含量可能起到了重要作用。

### 2.3 对植物生长状况的影响

许多盐渍环境下 AM 真菌植物生物量积累的研究显示<sup>[27-28]</sup>,菌根能缓解盐渍土壤环境对植物的抑制,从而有效增加对盐胁迫的抗性。AM 真菌能够促进作物的生长和干物质积累,增加叶面积及根系表面积,提高对矿质离子及水分的吸收,增加叶绿素的含量,促进植物生物量的增长,减小胁迫生境对作物产量的不利影响,从而提高植物的耐盐性。

不同植物对菌根的依赖性不同,也会影响接种后植物生长效应的大小,一般植物对菌根依赖性与接种后生长量增加幅度呈正相关。冯固等<sup>[5,18,24]</sup>通过盆栽法研究表明,随着盐水平的提高,菌根侵染率下降,生长量也呈递减趋势,但对 AM 真菌的依赖性则呈明显递增趋势。

## 3 AM 真菌提高植物抗盐性的机理

### 3.1 促进植物水分和养分的吸收

盐胁迫引起的植物营养亏缺及生理性干旱是阻碍植物生长发育的重要因素。而 AM 真菌与植物的共生体可以通过大量伸展到土壤中的根外菌丝来提高根系吸收面积和吸收空间,促使植物吸收更多的矿质元素和水分,缓解由盐胁迫引起的生理干旱,进而促进植物的生长发育。冯固等<sup>[24]</sup>、Grattan 等<sup>[29]</sup>认为,植物的水分及营养代谢是由菌丝的直接吸收作用及改善植物矿质元素状况和调节内源激素平衡状况的间接作用共同影响的。Allen<sup>[28]</sup>研究也发现菌丝能够加速寄主的水分吸收和运输过程。菌根的菌丝直径(2~27  $\mu\text{m}$ )很微小,可以伸展到一些植物细根及根毛(10~20 mm)无法深入的土壤区域,所以接种菌根植物能吸收未接种植物不能利用的水分和养分。

### 3.2 维持植物体内离子平衡,减缓盐离子毒害

在盐胁迫条件下主要是对植物体内无机离子  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  等产生影响,使得细胞内  $\text{Na}^+$  增加、 $\text{K}^+$  外渗、 $\text{Na}^+/\text{K}^+$  增大,植物耐盐的实质是  $\text{Na}^+$  与其它离子的代谢关系。Al-karaki 等<sup>[16]</sup>研究发现,盐胁迫程度越高,植物体内  $\text{Na}^+$  含量越大,但接种 AM 真菌的植物体内  $\text{Na}^+$  总量要显著低于未接种植物。Mohanmad 等<sup>[19]</sup>发现在较低盐浓度下,AM 真菌对  $\text{Na}^+$  影响不大,而在较高盐浓度时,可显著降低植物组织中  $\text{Na}^+$  含量。说明 AM 真菌可以降低植物细胞体内有害离子含量,缓解盐离子毒害,增强植物耐盐碱的能力。

由于土壤中的  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  属于竞争性吸收关系,提高土壤中的  $\text{K}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$ ,或施加 N、P 都会影响到植株体内  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的相对含量,从而缓解离子毒害,提高植物

耐盐性<sup>[29-30]</sup>。此外,保持  $\text{K}^+$  的高效吸收及较高  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  值也对植物的耐盐有重要作用。

在盐胁迫下,AM 真菌可能还通过控制盐害离子运输来降低植物受到盐害作用。申连英等<sup>[31]</sup>研究证明,与未接种的植株相比,接种 AM 真菌的植株茎、叶中  $\text{Na}^+$  浓度显著降低,而根中  $\text{Na}^+$  浓度及植物  $\text{Na}^+$  总量则显著增高,说明菌根化酸枣实生苗可以使  $\text{Na}^+$  在根部大量积累,相对减少地上部  $\text{Na}^+$  的运输,从而减少地上部盐害。

### 3.3 加强植物渗透调节

植物在盐胁迫条件下,由于细胞和组织渗透势的增大而导致水分流失,产生渗透胁迫。植物形成菌根后可通过影响植物体内碳水化合物和氨基酸的含量及组成来调节根系组织的渗透平衡,提高植物耐盐能力。还有研究表明,菌根可能通过提高植物根系中的可溶性糖来改善根系渗透压<sup>[32]</sup>。Feng 等<sup>[33]</sup>研究发现,盐胁迫处理下玉米接种 AM 真菌后,植物根部和地上部的可溶性糖含量均增加,甚至 AM 真菌对碳水化合物的需求,也诱使根部糖的积累,从而改善了渗透调节。脯氨酸是植物适应盐胁迫的一种重要的渗透调节物质,被认为是一种渗透保护剂。刘友良等<sup>[34]</sup>认为盐生境下植物通过合成脯氨酸来调节渗透压,且盐害程度越高,脯氨酸的积累量越高。贺学礼等<sup>[35]</sup>研究发现,当盐浓度低于 0.1% 时,菌根对棉花植株可溶性蛋白质含量影响不大,当高达 0.2%~0.3% 时,接种植株可溶性蛋白含量显著高于不接种植株。

### 3.4 调节植物抗氧化酶活性

盐胁迫能导致植物体内活性氧的产生,而在胁迫反应中,植物通过诱导产生抗氧化酶(SOD、CAT、APX、POD 等)来清除活性氧,这是一个关键的防御机制。大多数研究认为,AM 真菌加强了宿主植物根系有些抗氧化酶的活性,但宿主植物种类不同结果也不尽相同。

冯固等<sup>[24]</sup>研究表明,盐胁迫处理第 9 天,在 NaCl 0、1.0、2.0 g/kg 浓度处理下,接种 AM 真菌的玉米叶片比未接种叶片的 SOD 活性分别提高了 27.00%、10.08% 和 8.86%;NaCl 浓度为 2.0 g/kg 时,接种植株的 CAT 活性比未接种植株提高了 31.43%。Ghohanli 等<sup>[36]</sup>研究表明,盐胁迫条件下,菜豆接种幼套球囊霉(*Glomus etunicatum*)后增加了根部的 SOD 活性,但没有影响 CAT 和多酚氧化酶活性;与非菌根植株相比,菌根植株具有较高的 SOD、POD 和抗坏血酸氧化酶活性;且预先用盐处理的菌根植株比未经过盐处理的菌根植株有更高的 SOD 和 POD 活性;而对于地上部植株的 SOD、POD 和 CAT 活性,菌根和非菌根植物均有增加。

### 3.5 促进植物的光合作用

盐胁迫会抑制植物的光合作用,导致作物产量的下降<sup>[37]</sup>。事实上,随着盐度的增加,会导致植物体内负责光合色素合成的某种酶受到抑制,进而降低植物叶片中



的叶绿素含量,还会减少生物合成叶绿素中所需矿质元素的吸收,并降低叶片中的叶绿素浓度和光和作用效率<sup>[38]</sup>。而接种 AM 真菌能增加盐胁迫下植株体内的叶绿素含量,提高植物的光合作用,促进植物生长。申连英等<sup>[31]</sup>通过盆栽法研究了不同浓度 NaCl 条件下(0、1.5、3.0、4.5 g/kg 干土)接种 AM 真菌对酸枣实生苗生长及耐盐性的影响。结果发现,无 NaCl 处理中,接种植株的叶绿素含量显著高于不接种植株;相同 NaCl 浓度胁迫处理中,接种 AM 真菌植株叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量也显著高于不接种植株。这表明无论盐胁迫存在与否,AM 真菌均能增加叶绿素含量,促进植物光合作用。

但是,Hajiboland 等<sup>[39]</sup>虽然也表明丛枝菌根能够通过改善植物叶片气孔导度和 PSII 光化学过程来提高净吸收率,并以此来对抗盐胁迫。但在无盐处理中,AM 真菌没有对植物的 PSII 光化学反应产生影响。因此,作者认为 AM 真菌仅仅是作用于保持植物的光化学反应,却不会提高植株的能量获取潜力。

### 3.6 对相关基因表达的影响

目前,基因方面关于 AM 真菌提高盐胁迫下植物抗性的研究报道还较少。Plama 等<sup>[40]</sup>从球状巨孢囊属中分离并鉴定了编码 Cu/Zn 超氧化物歧化酶(GmarCuZnSOD)的全长基因,发现其可以提高酵母的耐盐能力,但在植物上的应用还未有报道。Jahromi 等<sup>[41]</sup>的一项分子水平的研究表明,接种 *Glomus intraradices* 的莴苣在 50 mmol/L NaCl 下,脯氨酸合成的关键酶 P5CS 基因表达量低于未接种的植株,在 100 mmol/L NaCl 下 P5CS 基因在菌根和非菌根化莴苣上的表达量相似。这就表明菌根化植物相比较未接种植株,受到更低的盐胁迫伤害。

## 4 问题与展望

综上所述,AM 真菌可以通过改变植物根系形态,改善其水分吸收,提高对 P 元素和其它矿质元素的吸收,并提高细胞抗氧化酶活性,缓解盐害离子造成的细胞生理代谢紊乱,从而促进植物在盐渍土壤中的生长。因此,这为生物措施改良盐碱地,提高盐碱地生产力,改善退化土壤环境,促进生态恢复提供了可能。但在 AM 真菌耐盐机制认识上的一致性及其在盐碱地上的实践应用方面,仍有很多值得深入研究的问题。因此建议从以下几方面来深入研究丛枝菌根在提高植物耐盐性上的应用。

一是可以尝试利用分子技术,对丛枝菌根中是否存在抗盐性基因进行探究。因为人们从生理生化角度对 AM 真菌提高耐盐机制进行了广泛研究,但在有些问题上仍不能达成一致。随着分子生物学技术的飞速发展,比如一些渗透调节物质的编码基因,或是抗氧化酶的编码基因。

二是研究筛选出适应该盐碱土壤的菌根真菌与植

物的最佳组合,为利用生物技术改良不同程度盐渍化土壤提供可靠方案。菌根真菌对盐渍化土地进行生态修复已经取得了一些成功<sup>[27,42]</sup>。因此,加强研究 AM 真菌在自然盐碱地的草木恢复方面的作用,针对不同的自然盐碱地类型。

三是综合 AM 真菌在其它胁迫环境下对植物的作用,模拟出与自然退化土地相似的环境胁迫试验,研究 AM 真菌对多重胁迫下植物的实际影响,可以为赤裸盐碱地的植被恢复提供理论依据。

四是探究 AM 真菌与有机肥的结合,也对盐碱地的改良有重要的实际意义。因为微生物肥料在农业上的作用已逐渐被人们所认可。且随着研究的深入和应用的需要正不断扩大新品种的开发,鉴于 AM 真菌具有优良的提高植物抗逆性及改良盐碱化土壤的特性,可以有效提高有机肥的吸收及预防土壤次生盐碱化,达到使植物优质高产和改良土壤的双重功效。

### 参考文献

- [1] 刘润进,陈应龙. 菌根学[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] Wang B, Qiu Y L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants[J]. *Mycorrhiza*, 2006, 16: 299-363.
- [3] Brundrett M C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants, understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis[J]. *Plant Soil*, 2009, 320: 37-77.
- [4] 牛东玲,王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. *土壤通报*, 2002, 33(6): 449-455.
- [5] 冯固,白灯莎,杨茂秋,等. 盐胁迫对 VA 菌根形成及接种 VAM 真菌对植物耐盐性的效应[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(1): 79-82.
- [6] Gupta R, Krishnamurthy K V. Response of mycorrhizal and nonmycorrhizal arachis hypogaea to NaCl and acid stress[J]. *Mycorrhiza*, 1996(6): 145-149.
- [7] Pfeiffer C M, Bloss H E. Growth and nutrition of guayule (*Parthenium argentatum*) in a saline soil as influenced by vesicular-arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization[J]. *New Phytologist*, 1988, 108: 315-321.
- [8] 姚艳玲,冯固,白灯莎,等. NaCl 胁迫下 VA 菌根对玉米耐盐能力的影响[J]. *新疆农业科学*, 1999(1): 20-22.
- [9] Daei G, Ardekani M, Rejali F, et al. Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions[J]. *Plant Physiol*, 2009, 166: 617-625.
- [10] Al-Raddad A M. Interaction of *Glomus mosseae* and *Paecilomyces lilacinus* on *Meloidogyne jaranica* of tomato[J]. *Mycorrhiza*, 1995, 5(3): 223-236.
- [11] 王发园,刘润进. 黄河三角洲盐碱土壤中 AM 真菌的初步调查[J]. *生物多样性*, 2001, 9(4): 389-392.
- [12] 唐明,黄艳辉,盛敏,等. 内蒙古盐碱土中 AM 真菌的多样性与分布[J]. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1104-1110.
- [13] Aliasgharzadeh N, Rastin N S, Towfighi H, et al. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil[J]. *Mycorrhiza*, 2001(11): 119-122.
- [14] Estaun M V. Effect of sodium chloride and mannitol on germination and hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* [J]. *Agric Ecosys Environ*, 1989, 29: 123-129.

- [15] Hirrel M C. The effect of sodium and chloride salts on the germination of *Gigaspora margarita*[J]. Mycologia, 1981, 43: 610-617.
- [16] Al-karaki G N, Hammad R, Rusan M. Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress[J]. Mycorrhiza, 2001, 11: 43-47.
- [17] 唐明. VA 菌根提高植物抗盐碱和抗重金属能力的研究进展[J]. 土壤, 1998, 30(5): 251-254.
- [18] 冯固, 张福瑛. 丛枝菌根真菌对棉花耐盐性的影响研究[J]. 中国农业生态学报, 2003, 11(4): 21-24.
- [19] Mohanmad M J, Malkawi H I, Shibli R. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts[J]. Journal of Plant Nutrition, 2003, 26: 125-127.
- [20] 唐振尧, 何首林. 菌根促进柑桔吸收难溶性磷肥的机理研究-IV. 磷酸酶活性对柑桔吸收磷的作用[J]. 中国南方果树, 1991(2): 7-10.
- [21] Ojala J C, Jarrell W M, Menge J A, et al. Influence of mycorrhizal fungi on the mineral nutrition and yield of onion in saline soil[J]. Agron J, 1983, 75: 255-259.
- [22] Rabie G H, Almadini A M. Role of bioinoculants in development of salt tolerance of vicia faba plants[J]. Afr J Biotechnol, 2005, 4: 210-222.
- [23] 林智. VA 菌根对茶树生长和矿质元素吸收的影响[J]. 茶叶科学, 1993, 2(1): 15-20.
- [24] 冯固, 李晓林, 李生秀. 盐胁迫下丛枝菌根真菌对玉米水分和养分状况的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 595-598.
- [25] Barab M, Farhad Ri, Gudarz D, et al. Arbuscular mycorrhizas enhance nutrient uptake in different wheat genotypes at high salinity levels under field and greenhouse conditions[J]. Comptes Rendus Biologies, 2011, 334: 564-571.
- [26] Ruizlozano J M, Azcon R. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plant as affected by the fungal species and water status[J]. Physiologia Plantarum, 1995, 95(3): 472-478.
- [27] Abdel G M, Asrar A-W A. Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline soil[J]. Acta Physiol Plant, 2012, 34: 267-277.
- [28] Allen M F. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on water movement through *Bouteloua gracilis* Lag ex Steud[J]. New Phytol, 1982, 91: 191-196.
- [29] Grattan S R, Grieve M. Mineral element acquisition and growth response of plants growth in saline environments[J]. Agriculture Ecosystem and Environment, 1992, 38: 275-300.
- [30] Gouia H, Ghorbal M H, Touraine B. Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and on  $\text{NO}_3^-$  reduction rate with in whole plants of salt-sensitive bean and salt-tolerant cotton[J]. Plant Physiol, 1994, 10(5): 1409-1418.
- [31] 申连英, 毛永民, 鹿金颖, 等. 丛枝菌根对酸枣实生苗耐盐性的影响[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 426-433.
- [32] 冯固, 杨茂秋, 白灯莎. 盐胁迫下 VA 菌根真菌对无芒雀麦体内矿质元素含量及组成的影响[J]. 草业学报, 1998(3): 21-28.
- [33] Feng G, Zhong F S, Li X L, et al. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots[J]. Mycorrhiza, 2002, 12(4): 185-190.
- [34] 刘友良, 毛才良. 植物耐盐性研究进展[J]. 植物生理学通讯, 1987(4): 1-7.
- [35] 贺学礼, 赵丽莉, 李英鹏. NaCl 胁迫下 AM 真菌对棉花生长和叶片保护酶系统的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 188-193.
- [36] Ghobanli M, Ebrahimzadeh H, Sharifi M. Effects of NaCl and Mycorrhizal fungi on Antioxidative enzymes in oybean[J]. Biologia Plantarum, 2004, 48(4): 575-581.
- [37] Pitman M, Lauchi A. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. Salinity: environment, plants, molecules [M]. The Netherlands: Springer Verlag, 2004: 3-20.
- [38] Giri B, Mukerji K G. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake[J]. Mycorrhiza, 2004(14): 307-312.
- [39] Hajiboland R, Aliasgharzadeh N, Laiegh S F, et al. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants[J]. Plant and Soil, 2010, 331: 313-327.
- [40] Palma J M, Longa M A, del Rio L A, et al. Superoxide dismutase in vesicular arbuscular mycorrhizal red clover plants[J]. Plant Physiol, 1993, 87: 77-83.
- [41] Jahromi F, Aroca R, Porcel R, et al. Influence of salinity on the *in vitro* development of *Glomus ntraradices* and on the *in vitro* physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants[J]. Microbial Ecology, 2008, 55(1): 45-53.
- [42] Zhang Y F, Wang P, Yang Y F. Arbuscular mycorrhizal fungi improve reestablishment of *Leymus chinensis* in bare saline-alkaline soil: Implication on vegetation restoration of extremely degraded land[J]. Journal of Arid Environments, 2011, 75: 773-778.

## Research Status and Development Trend of AM Fungi on Plant Under Salt Stress

GAO Chong, ZENG Ming, NIU Lin-lin, ZHOU Lin-jun, WANG Xiu-qi

(Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715)

**Abstract:** The research progress that about the arbuscular mycorrhizal (AM) fungi improving the plant salt resistance aspect at home and abroad in recent years were reviewed. From the perspective of plant physiology, the action mechanism that AM fungi help to improving the host plant resistance under salt stress habitats were discussed, some worthy of further exploration issues about AM fungi in improving salt-tolerance and practical application aspects were presented.

**Key words:** arbuscular mycorrhizal (AM) fungi; salt stress; action mechanism; development trend