

## 丛枝菌根对酸枣实生苗耐盐性的影响\*

申连英<sup>1</sup> 毛永民<sup>1</sup> 鹿金颖<sup>1</sup> 彭士琪<sup>1</sup> 李晓林<sup>2</sup> 张福锁<sup>2</sup>

(1 河北农业大学中国枣研究中心, 河北保定 071001)

(2 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

**摘要** 本文研究了在土中加入不同量 NaCl 条件下 (0, 1.5, 3.0, 4.5 g kg<sup>-1</sup> 干土) 接种丛枝菌根真菌 (AMF) *Glomus mosseae* 对盆栽酸枣 (*Zeyphus spinosus* Hu) 实生苗生长及耐盐性的影响。结果表明, 无论接种与否, 植株的高度、根茎叶的干鲜重均随土壤 NaCl 浓度的增加而降低, 而根、茎、叶和整株的 Na 浓度及 Na 总量均随土壤 NaCl 浓度的增加而增大。在土壤盐浓度相同的条件下, 接种 AMF 植株的生长量 (株高、鲜重、干重等) 和叶片的叶绿素含量显著高于不接种植株。接种 AMF 的植株茎、叶中 Na 浓度低于不接种植株, 而根中 Na 浓度、植株 Na 总量显著高于不接种植株。盐浓度最大的接种处理, 其植株生长量和叶片叶绿素含量均高于不加盐不接种处理。播种时进行盐胁迫处理和播种后 40 d 开始进行盐胁迫处理对菌根的侵染率、植株生长的影响差异不显著。上述四种盐浓度播种时进行盐处理的接种 AMF 植株的总干重比不接种植株分别提高 164%、149%、48%、35%, 在播种后 40d 进行盐处理的接种 AMF 的植株比不接种植株分别提高 194%、127%、72%、46%。结果证明, 酸枣实生苗具有较强的耐盐性, 其生长对菌根真菌有很强的依赖性, 接种菌根真菌提高了其耐盐能力。

**关键词** 丛枝菌根; 酸枣; 耐盐性; NaCl

中图分类号 S665.1 文献标识码 A

我国盐碱地面积大, 盐碱地上作物生长不良、产量低、品质差, 严重影响我国的农业生产。许多研究表明, 应用丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal fungus, AMF) 可以增强寄主植物的耐盐能力<sup>[1~3]</sup>, 提高盐胁迫条件下作物的生长和产量<sup>[4,5]</sup>。枣原产我国, 在我国分布广泛, 是重要的经济树种。枣树抗逆性强, 就其耐盐能力而言, 高于一般果树<sup>[6]</sup>, 我国有不少枣产区就分布在盐碱地上。尽管枣树具有较强的耐盐能力, 但在盐碱程度严重和较重的土壤上仍存在栽植成活率低、生长结果差等问题。因此探索进一步提高枣树耐盐能力的途径和方法, 对于提高盐碱地枣树产量、改善枣果品质、扩大枣树在盐碱地栽植面积具有重要的现实意义。本试验以枣的常用砧木酸枣为试材, 研究不同土壤含盐量条件下, 接种丛枝菌根真菌对盆栽酸枣实生苗生长和耐盐性的影响, 为丛枝菌根真菌在枣树抗盐方面的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 菌根真菌接种物 供试菌种为 *Glomus*

*mosseae* (Nicol. Et Gerd.) Gerdemann et Trappe. (漏斗孢球囊霉), 由中国农业大学植物营养系提供。接种菌剂是用玉米作为宿主植物的根系-土混合物。

1.1.2 酸枣种子 选用子粒饱满的种仁。用 0.1% 的氯化汞杀菌 3 min 后, 清洗干净, 40℃ 水中浸种 24 h, 28℃ 恒温箱中催芽。

1.1.3 供试土壤 为砂壤土, 有机质含量 10.13 g kg<sup>-1</sup>, 速效氮 52.92 mg kg<sup>-1</sup>, 速效磷 3.19 mg kg<sup>-1</sup>, 速效钾 105.86 mg kg<sup>-1</sup>, pH 值 8.22。土壤经高压湿热 (121℃) 灭菌 2 h。

1.1.4 盆钵 为塑料盆。上口内径 15 cm, 盆底内径 12 cm, 高 15 cm, 每盆装干土 2 kg。盆底无孔。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 考虑到盐分胁迫可能抑制菌根真菌孢子萌发、菌丝侵染, 根据开始进行盐分处理的时间不同设两个试验: (1) 盐分试验 I, 在播种完毕开始进行盐分处理。NaCl 溶液浓度为 0、2、4、6 g L<sup>-1</sup>, 同一盐分浓度设接种 *Glomus mosseae* 和不接种, 共 8 个处理, 5 次重复, 共 40 盆。(2) 盐分试验 II, 在播种后 40 d (菌根真菌侵染根系后) 开始进行

\* 河北省自然科学基金项目 (395220) 资助

作者简介: 申连英, 女, 副研究员, 河北农业大学园艺学院 2002 级博士生, 主要从事枣树栽培生理及育种工作

收稿日期: 2003-03-18; 收到修改稿日期: 2003-07-28

盐分处理。NaCl 溶液浓度为 0、2、4、6 g L<sup>-1</sup>, 同一盐分浓度设接种 *Glomus mosseae* 和不接种, 共 8 个处

理, 5 次重复, 共 40 盆。结合浇水每次每盆浇 NaCl 溶液 150 ml, 共浇 10 次(见表 1)。

表 1 盐分试验设计

Table 1 The designation of treatment in salt experiment

试验代号	处理编号	接种状况	NaCl 溶液浓度	土壤施 NaCl 量 NaCl	盐分处理开始时间
Experiment	Treatment	AMF status	Concentration of NaCl solution (g L <sup>-1</sup> )	added into soil (g kg <sup>-1</sup> )	Time of starting salt treatments
I	1	+ M	0	0.0	播种完毕
	2	+ M	2	1.5	开始施盐
	3	+ M	4	3.0	Just after
	4	+ M	6	4.5	sowing
	5	- M	0	0.0	
	6	- M	2	1.5	
	7	- M	4	3.0	
	8	- M	6	4.5	
II	1	+ M	0	0.0	播种后
	2	+ M	2	1.5	生长 40 d
	3	+ M	4	3.0	开始施盐
	4	+ M	6	4.5	40 days
	5	- M	0	0.0	after sowing
	6	- M	2	1.5	
	7	- M	4	3.0	
	8	- M	6	4.5	

注: + M 表示接种, - M 表示不接种 Note: inoculating (+ M), non-inoculating (- M)

**1.2.2 播种和管理** 试验地点在河北农业大学标本园塑料大棚。播种时间 1999 年 5 月 15 日, 将灭菌土壤装入塑料盆至盆深 3/4, 接种处理每盆加入 20 g 接种剂, 不接种处理每盆加入经高压灭菌的接种剂 20 g, 每盆播种 20 粒酸枣种子。出苗后, 每盆选留生长一致的酸枣苗 10 株。土壤相对含水量控制在 60% 左右。

**1.2.3 测定方法** 菌根侵染率测定: 酸性品红染色根段法测定菌根侵染率。株高测定: 分三次测定, 即 6 月 18 日、7 月 3 日和 8 月 20 日。植株鲜重、干重测定: 于 9 月 3 日收获时测定单盆叶、茎、根鲜重和干重。叶绿素含量测定: 丙酮乙醇混合液法提取叶绿素, 用岛津 UV-120 分光光度计于 663 nm 和 645 nm 下比色测定, 采样和测定时间为 8 月 4 日。Na 含量测定: 9 月 3 日收获的植株叶、茎和根样品, 经 0.1% 洗涤剂(1 次)、自来水(2 次)、去离子水(3 次)洗净后烘干, 用不锈钢粉碎机粉碎、马福炉干灰化、ICP PERKIN ELMER OPTIMA 3300 DV 测定 Na 含量, 其中 1 组重复的根用于拍照未进行测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同盐分条件下 AMF 对酸枣实生苗的侵染率

对酸枣实生苗菌根侵染率调查结果表明, 不接种处理无菌根侵染。接种处理随施盐浓度的增加菌根侵染率降低(见表 2)。同一施盐浓度, 盐分试验 I 和盐

表 2 不同盐分处理酸枣实生苗菌根侵染率

Table 2 Root colonization of wild jujube (*Zizyphus spinosus* Hu) seedlings in different salt treatments

处理编号	侵染率	
	Root colonization (%)	
	盐分试验 I	盐分试验 II
Treatment	Experiment I	Experiment II
1	98.2 a	98.0 a
2	98.0 a	97.0 a
3	96.0 ab	94.4 a
4	90.0 b	85.3 b

注: 字母相同者差异不显著, 不同者差异显著 ( $p < 0.05$ )

Note: Values in each column followed by the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ) according to LSD

分试验 II 中菌根侵染率差异不显著。说明早期盐胁迫对 *Glomus mosseae* 侵染宿主植物的影响不大。

## 2.2 不同盐分条件下 AM 对酸枣实生苗生长的影响

不同盐浓度对接种和不接种 AMF 的酸枣实生苗株高的影响见图 1 和图 2。统计结果表明,在盐分试

验和盐分试验 II 中,6月18日测定的株高各处理间均无差异;7月3日测定的株高接种处理显著大于不接种处理;8月6日的株高接种处理显著大于不接种处理,各接种处理之间株高差异也达到显著水平,而不接种处理之间株高差异不显著。

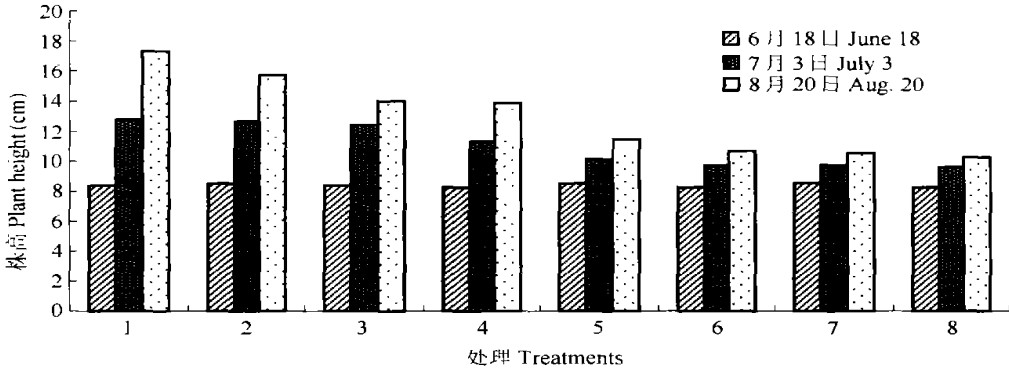


图 1 AM 对酸枣实生苗株高的影响(盐分试验 I)

Fig 1 The effect of AM on plant height of wild jujube (*Zyphus spinosus* Hu) seedlings in the salt experiment I

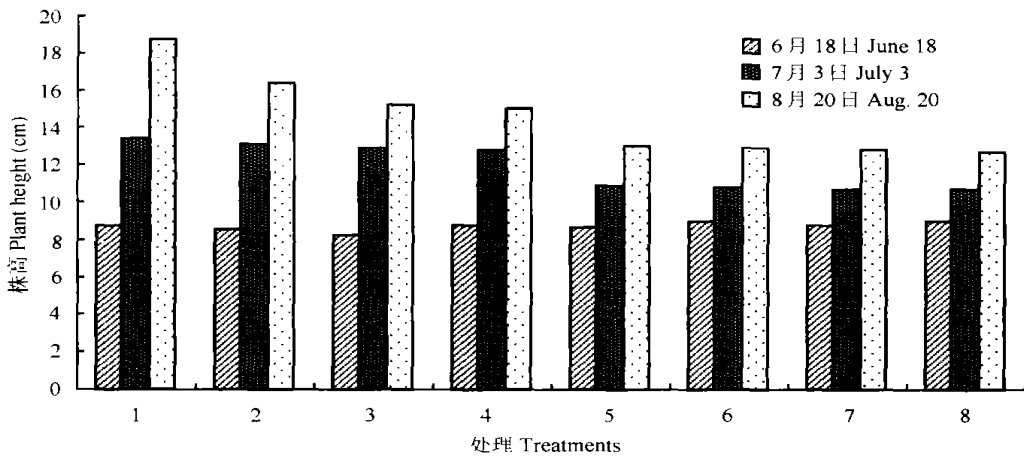


图 2 AM 对酸枣实生苗株高的影响(盐分试验 II)

Fig 2 The effect of AM on plant height of wild jujube (*Zyphus spinosus* Hu) seedlings in the salt experiment II

从表 3 可以看出,在试验 I 和 II 中,在盐浓度相同的情况下,接种植株茎和叶的鲜重和干重及植株总干重显著高于不接种的植株。而根的鲜重和干重仅在高浓度盐处理时接种与不接种植株差异不显著。盐分试验中,NaCl 浓度为 0、2、4、6 g L<sup>-1</sup>时,接种植株的干重比不接种植株分别提高 164%、149%、48%、

35%。盐分试验 II 中,NaCl 浓度为 0、2、4、6 g L<sup>-1</sup>时,接种菌根真菌植株的干重比不接种植株分别提高 194%、127%、72%、46%。这表明在不同盐胁迫条件下,接种 AMF 均能显著地促进酸枣实生苗的生长和干物重的积累,但随盐胁迫程度的增加,AM 促进生长的幅度减小。

表 3 不同盐分处理 AM 对酸枣实生苗生物学产量的影响

Table 3 The effect of AM on biomass of wild jujube (*Zizyphus spinosus* Hu) seedlings with different salt stresses

试验代号 Experiment	处理编号 Treatment	叶 Leaves		茎 Shoots		根 Roots		总干重 Total DW (g pot <sup>-1</sup> )
		鲜重 FW <sup>1)</sup>	干重 DW <sup>2)</sup>	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW	
		(g pot <sup>-1</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	(g pot <sup>-1</sup> )	
I	1	10.21 a	3.98 a	3.85 a	2.38 a	19.87 a	8.24 a	14.61 a
	2	9.24 b	3.41 b	3.29 b	2.02 b	18.66 a	7.24 b	12.66 b
	3	6.30 c	2.22 c	2.25 c	1.33 c	9.28 b	3.82 c	7.38 c
	4	4.92 d	1.65 d	2.00 c	1.17 c	6.85 bc	2.81 de	5.63 d
	5	3.57 e	1.28 e	1.43 d	0.82 d	7.99 bc	3.43 cd	5.54 d
	6	3.28 e	1.21 e	1.36 d	0.80 d	7.72 bc	3.08 de	5.09 de
	7	3.21 e	1.17 e	1.35 d	0.80 d	7.47 bc	3.01 de	4.98 de
	8	2.81 e	1.04 e	1.24 d	0.70 d	6.31 c	2.43 e	4.17 e
II	1	10.61 a	4.36 a	4.08 a	2.53 a	21.43 a	8.64 a	15.53 a
	2	8.64 b	3.27 b	3.11 b	1.87 b	15.31 b	5.99 b	11.13 b
	3	6.53 c	2.29 c	2.55 c	1.50 c	9.50 c	3.79 c	7.58 c
	4	5.53 d	1.90 cd	2.22 c	1.31 c	6.70 cd	2.63 d	5.84 d
	5	3.85 e	1.67 de	1.47 d	0.86 d	6.52 cd	2.76 d	5.29 de
	6	3.67 ef	1.35 ef	1.44 d	0.81 d	6.50 cd	2.74 d	4.90 de
	7	3.37 ef	1.26 ef	1.40 d	0.79 d	5.78 d	2.36 d	4.41 f
	8	2.96 f	1.10 f	1.39 d	0.77 d	5.50 d	2.12 d	3.99 f

注: 字母相同者差异不显著, 不同者差异显著( $p < 0.05$ ) Note: Values in each column followed by the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ) according to LSD. 1) FW: Fresh weight; 2) DW: Dry weight

### 2.3 AM 对酸枣实生苗叶片叶绿素含量的影响

两种盐处理试验结果均表明, 随施盐浓度的增大叶片叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量均降低(表 4)。但在盐分试验中, 不接种 AMF 的不同盐分处理植株间叶片叶绿素含量差异没有达到显著水平。在没有

加 NaCl 的处理中, 接种 AMF 的植株的叶绿素含量显著高于不接种处理。在同一盐胁迫下, 接种 AMF 植株叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量显著高于不接种植株。这说明无论是否在盐分胁迫下, AM 均能增加叶绿素含量, 促进光合作用。

表 4 不同盐分处理 AM 对酸枣实生苗叶片叶绿素含量的影响

Table 4 The effect of AM on leaf chlorophyll content of wild jujube (*Zizyphus spinosus* Hu) seedlings with different salt stresses

试验代号 Experiment	处理编号 Treatment	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素总量
		Chlorophyll a (mg g <sup>-1</sup> )	Chlorophyll b (mg g <sup>-1</sup> )	Total chlorophyll (mg g <sup>-1</sup> )
I	1	2.708 a	1.351 a	4.058 a
	2	2.465 b	1.232 ab	3.696 b
	3	2.168 c	1.127 b	3.294 c
	4	2.078 c	1.120 b	3.197 c
	5	1.541 d	0.861 c	2.402 d
	6	1.503 d	0.855 c	2.358 d
	7	1.466 d	0.832 c	2.298 d
	8	1.363 d	0.774 c	2.137 d

续表

试验代号 Experiment	处理编号 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a(mg g <sup>-1</sup> )	叶绿素 b Chlorophyll b(mg g <sup>-1</sup> )	叶绿素总量 Total chlorophyll(mg g <sup>-1</sup> )
II	1	2.976 a	1.456 a	4.431 a
	2	2.656 ab	1.361 a	4.016 ab
	3	2.437 b	1.384 a	3.820 b
	4	2.023 c	1.177 b	3.199 c
	5	1.907 cd	1.129 b	3.035 cd
	6	1.800 cd	1.101 b	2.901 cd
	7	1.649 d	1.021 bc	2.669 d
	8	1.252 e	0.882 c	2.134 e

注: 字母相同者差异不显著, 不同者差异显著( $p < 0.05$ ) Note: Values in each column followed by the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ) according to LSD

## 2.4 不同盐分条件下 AM 对酸枣实生苗 Na 吸收的影响

由表 5 可以看出, 不管接种 AMF 与否, 随土壤中 NaCl 浓度的增加, 根、茎、叶和整株的 Na 浓度明显增大。盐浓度相同的处理, 接种 AMF 的植株叶片 Na 浓度低于不接种植株, 但差异没有达到显著水平; 除没有加入盐分的处理外, 其它三个盐浓度处理中接种

AMF 植株茎中的 Na 浓度显著低于不接种植株。在所有的盐处理中, 接种 AMF 植株根中的 Na 浓度显著高于不接种植株。说明在盐胁迫下, 有菌根的植株根系可积累大量的 Na, 降低了地上部 Na 浓度。接种处理酸枣实生苗植株上部叶片 Na 浓度低于下部叶片。

表 5 不同盐胁迫 AM 对酸枣实生苗各部位 Na 浓度的影响(盐分试验)

Table 5 The effect of AM on Na concentration in different parts of wild jujube (*Zexyphus spinosus* Hu) seedlings with different salt stresses (Experiment I)

处理编号 Treatments	叶 <sup>1)</sup> Leaves (g kg <sup>-1</sup> )	茎 <sup>1)</sup> Shoots (g kg <sup>-1</sup> )	根 <sup>2)</sup> Roots (g kg <sup>-1</sup> )	上部叶 <sup>1)</sup> Upper leaves (g kg <sup>-1</sup> )	下部叶 <sup>1)</sup> Lower leaves (g kg <sup>-1</sup> )	整株 <sup>2)</sup> Whole plant (g kg <sup>-1</sup> )
1	0.438 c	0.213 e	1.054 d	0.251	0.477	0.766 g
2	0.471 c	0.414 e	2.489 c	0.422	0.755	1.582 e
3	1.955 b	1.213 d	3.431 b	1.672	2.461	2.334 c
4	6.144 a	2.688 b	4.518 a	5.880	6.811	4.590 a
5	0.681 c	0.419 e	0.866 e	—	—	0.737 g
6	0.918 bc	0.985 d	1.573 d	—	—	1.228 f
7	2.118 b	2.046 c	2.553 c	—	—	1.980 d
8	6.356 a	4.845 a	3.926 b	—	—	4.199 b

注: 字母相同者差异不显著, 不同者差异显著( $p < 0.05$ )。1) 叶、茎数据为 5 次重复平均值; 2) 根、整株数据为 4 次重复平均值 Note: Values in each column followed by the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ) according to LSD. 1) Values in leaves and shoots column are means of five replications; 2) Values in roots and whole plant column are means of four replications

表 6 不同盐胁迫 AM 对酸枣实生苗各部位 Na 总量的影响(盐分试验)

Table 6 The effect of AM on Na content in different parts of single wild jujube (*Zexyphus pinosus* Hu) seedlings with different salt stresses (Experiment I)

处理编号 Treatment	叶 <sup>1)</sup> Leaves (mg)	茎 <sup>1)</sup> Shoots (mg)	根 <sup>2)</sup> Roots (mg)	单株 <sup>2)</sup> Single plant (mg)
1	0.164 bc	0.051 cd	0.861 c	1.136 d
2	0.141 bc	0.087 c	1.790 a	2.019 b
3	0.306 b	0.166 b	1.431 b	1.803 b
4	0.735 a	0.318 a	1.347 b	2.513 a
5	0.047 c	0.036 d	0.279 e	0.366 e
6	0.057 c	0.078 cd	0.510 de	0.730 e
7	0.145 bc	0.163 b	0.726 cd	0.992 d
8	0.236 bc	0.339 a	0.984 c	1.476 c

注: 字母相同者差异不显著, 不同者差异显著( $p < 0.05$ )。1) 叶、茎数据为 5 次重复平均值; 2) 根、单株数据为 4 次重复平均值 Note: Values in each column followed by the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ) according to LSD. 1) Values in leaves and shoots column are means of five replications; 2) Values in roots and single plant column are means of four replications

植株各部位 Na 的总量见表 6。叶、茎 Na 的总量随土壤盐浓度的增加而增大。而根中 Na 的总量以处理 2 为最大。由于接种植株生长量大, 干重高于不接种植株, 所以接种植株中单株 Na 全量显著高于不接种植株。

### 3 讨论

菌根侵染率的大小反映了菌根真菌与宿主植物亲和力的强弱。在盐胁迫条件下, 随盐胁迫程度的加大, 菌根真菌对植物根系的侵染率降低<sup>[7-9]</sup>。本研究中酸枣实生苗根系的侵染率在不加盐的处理中很高, 达 98%。酸枣实生苗菌根侵染率随着盐胁迫强度的增大而下降, 但菌根侵染率仍保持在较高值, 即使在严重盐胁迫条件下 ( $\text{NaCl } 4.5 \text{ g kg}^{-1}$  土), 侵染率也高达 85% 以上。接种同时进行盐分处理与接种后 40 d 进行盐分处理(此处理是形成菌根后再进行盐处理)的植株菌根侵染率没有显著差异也表明, 盐胁迫的存在对菌根真菌对酸枣根系的侵染影响不大。鹿金颖等<sup>[10]</sup>报道在土壤相对含水量为 60% 时, 接种丛枝菌根真菌的酸枣实生苗的菌根侵染率为 100%, 即使在干旱条件下(土壤相对含水量为 20%), 侵染率也高达 86% 以上。毛永民等<sup>[11]</sup>报道田间成龄枣树菌根自然侵染率达 82.5%。这表明, 酸枣和枣的根系易受菌根真菌的侵染, 酸枣和枣树耐盐、抗逆性强可能与这一特性有关。

本试验发现, 在没有接种菌根真菌的处理中, 随着土壤盐浓度的增加, 酸枣实生苗的生长量呈下降趋

势, 但下降幅度很小, 大部分盐浓度处理间生长量(株高、根、茎、叶干重)的差异没有达到显著水平。这充分表明酸枣实生苗对盐胁迫不敏感, 具有很强的耐盐性。在同一盐浓度条件下, 接种处理的酸枣实生苗生长量(株高、根、茎、叶干重)显著高于不接种处理。在盐分试验 II 中,  $\text{NaCl}$  浓度为 0、2、4、6  $\text{g L}^{-1}$  时, 菌根植株的干重比不接种植株分别提高 194%、127%、72%、46%, 盐分浓度最大的接种处理, 其茎、叶、根干重比不加盐不接种处理的还高或相近。这表明接种菌根真菌对促进酸枣实生苗的生长和干物质的积累效果十分明显, 酸枣实生苗的生长对菌根有很强的依赖性。同时也表明, 盐胁迫程度的增加可限制菌根作用的发挥。

许多研究认为, 在接种菌根真菌条件下提高植物耐盐性与生长归因于菌根植株增加了对 P、Zn、Fe 等营养元素的吸收<sup>[4,5,9,12]</sup> 和改善了植物的水分关系<sup>[10,13,14]</sup>。盐胁迫下,  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  大量进入细胞,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  等原有的离子平衡遭到破坏。本试验发现, 接种菌根真菌增加了植株对 Na 的吸收, 但接种菌根真菌的植株茎、叶中 Na 浓度低于不接种植株, 根中 Na 浓度显著高于不接种植株, 说明菌根化酸枣实生苗可使 Na 在根部大量累积, 相对减少 Na 往地上部的运输, 从而减轻地上部盐害。这可能是菌根化酸枣实生苗耐盐能力提高的原因之一。

在盐胁迫条件下, 叶绿素含量的降低幅度可作为植物受盐害程度的指标<sup>[6]</sup>。本试验中无论接种与否, 随土壤盐浓度的增加, 叶绿素 a 和叶绿素 b 含量均降低。但在不接种处理中, 两者降低的幅度小, 在盐分

试验中各处理间差异均不显著。本试验中接种菌根真菌的植株叶片叶绿素含量明显增大,盐胁迫最重的接种处理,其叶片叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量均超过了不加盐不接种的处理。由此也可以证明,酸枣实生苗本身具有较强的耐盐性,它的生长对菌根的依赖性很强。接种菌根真菌的酸枣实生苗干物重的明显增大与其叶片叶绿素含量高,从而增强了光合作用有关。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 冯固,李晓林,张福锁,等. VA 菌根提高植物耐盐性研究进展. 西北农业大学学报,1999,27(3):94~100. Feng G, Li X L, Zhang F S, *et al.* A review for discussing the effects of VA mycorrhizal fungi on plant tolerance to salinity (In Chinese). *Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalis*, 1999, 27(3): 94 ~ 100
- [ 2 ] 刘润进,魏红,康俊水. AM 菌对盐渍化土壤中坪草生长的影响. 莱阳农学院学报,1997,14(2):134~137. Liu R J, Wei H, Kang J S. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth of lawn grasses grown in saline soil (In Chinese). *Journal of Laiyang Agricultural College*, 1997, 14(2):134~137
- [ 3 ] 冯固,白灯莎,杨茂秋,等. 盐胁迫下 AM 真菌对玉米生长及耐盐生理指标的影响. 作物学报,2000,26(6):743~750. Feng G, Bai D S, Yang M Q, *et al.* Influence of inoculating arbuscular mycorrhizal fungi on growth and salinity tolerance parameters of maize plants (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(6): 743~750
- [ 4 ] Al-Karaki G N. Growth, water use efficiency, and mineral acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 2000, 23(1):1~8
- [ 5 ] Al-Karaki G N, Hammad R. Mycorrhizal influence of fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 2001, 24(8):1311~1323
- [ 6 ] 马翠兰,刘星辉,陈中海. 果树对盐胁迫的反应及耐盐性鉴定的研究进展. 福建农业大学学报,2000,29(2):161~166. Ma C L, Liu X F, Chen Z H. Advances in response of fruit trees to salt stress and their salt tolerance identification (In Chinese). *Journal of Fujian Agricultural University*, 2000, 29(2):161~166
- [ 7 ] Duke ER, Johnson CR, Koch KE. A accumulation of phosphorus, dry matter and betaine during NaCl stress of splitroot citrus seedlings colonized with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on zero, one or two halves. *New Phytol.*, 1986, 104:583~590
- [ 8 ] Hirel M C, Gerdemann J W. Improved growth of onion and bell pepper in saline soils by two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1980, 44:654~655
- [ 9 ] 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. *Agron. J.*, 1983, 75:255~259
- [ 10 ] 鹿金颖,毛永民,申连英,等. VA 菌根真菌对酸枣实生苗抗旱的影响. 园艺学报,2003,30(1):29~33. Lu J Y, Mao Y M, Shen L Y, *et al.* Effects of VA mycorrhizal fungi inoculated on drought tolerance of Wild Jujube (*Zizyphus spinosus* Hu) seedlings (In Chinese). *Acta Horticulturae Sinica*, 2003, 30(1):29~33
- [ 11 ] 毛永民,范培格,贾立涛,等. 枣树 VA 菌根侵染率的田间调查. 河北农业大学学报,1999,22(4):55~57. Mao Y M, Fan P G, Jia L T, *et al.* Natural occurrence of vesicular arbuscular fungi in Chinese jujube trees (In Chinese). *J. Hebei Agri. Uni.*, 1999,22(4):55~57
- [ 12 ] Biricolti S, Ferrini F, Rinaldelli E, *et al.* VAM fungi and soil lime content influence rootstock growth and nutrient content. *Am. J. Enol. Vitic.*, 1997, 48(1):93~99
- [ 13 ] Hartmond U, Schaesberg N V, Graham J H, *et al.* Salinity and flooding stress effects on mycorrhizal and non-VA mycorrhizal citrus rootstock seedlings. *Plant and Soil*, 1987, 104:37~43
- [ 14 ] 冯固,李晓林,张福锁,等. 盐胁迫下丛枝菌根真菌对玉米水分和养分状况的影响. 应用生态学报,2000,11(4):595~598. Feng G, Li X L, Zhang F S, *et al.* Effect of AM fungi on water and nutrition status of corn plants under salt stress (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 595~598

## EFFECTS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAE ON SALT TOLERANCE OF WILD JUJUBE (*ZIZYPHUS SPINOSUS* HU) SEEDLINGS

Shen Lianying<sup>1</sup> Mao Yongmin<sup>1</sup> Lu Jinying<sup>1</sup> Peng Shiqi<sup>1</sup> Li Xiaolin<sup>2</sup> Zhang Fusuo<sup>2</sup>

(1 Research Center of Chinese Jujube, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China)

(2 College of Resources & Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** The effects of AMF (*Glomus mosseae*) on growth and salt tolerance of pot wild jujube seedlings (*Zizyphus spinosus* Hu) at different levels of NaCl added into soil (0, 1.5, 3.0, 4.5 g kg<sup>-1</sup> of dry weight soil) were studied. The results showed that the height, fresh weight, dry matter weight of roots, leaves and shoots of AMF inoculated and uninoculated plants decreased while the Na concentrations of roots, leaves, shoots and whole plant increased with the increasing doses of NaCl added into the soil. The height, fresh weight, dry matter weight in different parts of plant and the leaf chlorophyll concentrations were significantly higher for AMF inoculated plants than for uninoculated plants grown under the same levels of NaCl. The Na concentrations of shoot and leaf were lower while the Na concentrations of root and the Na content of whole plant were significantly higher for inoculated plants than for uninoculated plants. The growth and leaf chlorophyll concentrations were higher for AMF inoculated plants grown under highest level of NaCl (4.5 g kg<sup>-1</sup>) than for uninoculated plant grown under no NaCl added into the soil. No significant differences in growth and root colonization were found between plants with salt treatment just after sowing and plants with salt treatment 40 days after sowing. The gross dry weight of AMF plants with salt treatment just after sowing increased 164%, 149%, 48%, 35%, respectively, at the 0, 1.5, 3.0, 4.5 g kg<sup>-1</sup> NaCl of the dry weight soil, compared with that of uninoculated plants, and that with salt treatment 40 days after sowing increased 194%, 127%, 72%, 46%, respectively. The results indicated that wild jujube seedlings were salt tolerant plant, the growth of the plant heavily relied on AM, and the AMF inoculated plants had greater tolerance to salt stress than uninoculated plants.

**Key words** AMF; Wild jujube (*Zizyphus spinosus* Hu); Salt tolerance; NaCl