

天津滨海盐碱土中 VA 菌根真菌资源调查研究

张峰峰, 周 可, 赵玉洁, 谢凤行, 李亚玲

(天津市农业生物技术研究中心, 天津 300192)

摘 要: 对天津盐碱土中植物的 VA 菌根真菌共生状况进行了研究, 结果表明: 在 9 科 23 种盐生植物中, 有 19 种盐生植物被菌根真菌侵染。所调查植物的 VA 菌根结构类型与宿主植物类型有关, 禾本科(Poaceae)植物为 P 型菌根, 豆科(Leguminosae), 菊科(Compositae), 怪柳科(Tamaricaceae)等其它科植物均为 A 型菌根; 植物的菌根侵染率和植物本身的特性有关; 菌根侵染率和孢子密度显著不相关($P=0.9740$, $r=0.1841$, $n=23$)。

关键词: 盐碱土; 菌根侵染率; 孢子密度; 菌根类型

中图分类号: S154.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0149-05

我国盐碱土面积约为 $9.9 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 并且逐年增加, 土壤盐害使植物生长不良、产量低、品质差, 严重影响我国农业生产^[1]。如何开发利用以及改良盐碱地已经成为影响我国可持续发展的重要问题。VA(vesicular-arbuscular)菌根是土壤中植物根系与一种真菌的共生体, 在自然界分布极为广泛, 约 90% 以上的陆生植物, 包括苔藓植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物都可形成 VA 菌根^[2]。在盐胁迫条件下, VA 菌根有利于活化土壤中矿物质磷源和氮源, 增加了磷素和氮素的有效性, 提高植物对矿质营养的吸收, 改善植物体内的各种离子平衡; 提高植物叶片的光合作用速率和水分利用率; 促进植物渗透调节物质和生长调节物质的产生, 缓解盐碱环境对植物根系细胞及其中各种酶的损害, 促进宿主的生长和发育^[3-4]。因此, 如何利用菌根真菌与植物的共生关系来增加植物在盐渍土壤中的适应能力, 提高盐碱地土地生产力和生态效益已成为重要的研究方向。

近年来, 我国对山东、山西、河南、河北^[5-8], 内蒙古^[9], 甘肃^[10], 宁夏^[11]等地区的盐碱土中的 VA 菌根真菌做了详细的调查, 发现了一批盐碱土中的优势菌株。在盐胁迫环境下, 对小麦^[12]、玉米^[13]、大豆^[14]、西红柿^[15-16]、辣椒^[16]、黄瓜^[17]、酸枣^[18]、葡萄^[19]、草莓^[20]等多种植物进行了菌根真菌的接种实验, 结果表明, 在盐胁迫下接种 VA 菌根真菌均可显著促进植物的生长, 提高植物的耐盐性。

为探索天津滨海地区盐碱土中盐生植物 VA 菌根真菌的分布、多样性及其功能, 本文对天津滨海盐碱地主要植物 VA 菌根真菌的侵染情况、结构类型

和产孢情况等进行了调查研究, 对丰富我国 VA 菌根真菌资源, 筛选高效菌种, 利用菌根真菌提高植物抗盐性, 开发菌根真菌在盐碱土中的应用具有重要意义。

1 研究区域概况

研究区域位于天津市大港区独流碱河入海口, 为盐碱多发地区, 38°E , 117°N , 海拔 1~10 m, 介于大陆性与海洋性气候的过渡带上, 属暖温带半湿润季风型气候。夏季炎热, 雨水集中; 冬季严寒, 干旱少雨。年均温 11.8°C , 无霜期 130~170 d, 年平均降水量为 550~680 mm, 本区地下水埋藏深度约为 1.0~2.5 m, 主要受海水的补给, 矿化度一般为 5~10 g/L 或更高, 土壤底土层透水性很强, 易使土壤盐碱化^[21]。

2 研究方法

2.1 采样方法

选择盐碱土中具有代表性的主要植物, 如芦苇、怪柳、白刺等, 每种植物随机选取 5 株, 每株按东西南北 4 个方位, 除去 5 cm 厚的表层土后, 挖 10~30 cm 深的土壤剖面, 剪取带有细根的根系, 将根系和根际土一同装入塑料袋中, 密封带回。

2.2 菌根侵染率的测定

将根洗净, 采用透明压片法制片, 镜检丛枝、泡囊、菌丝等形态特征和结构类型^[22], 测定菌根侵染率^[23]。

菌根侵染率(%) = 有菌根感染的根段数/检查根段总数 $\times 100\%$

收稿日期: 2012-01-31

基金项目: 天津市科技支撑计划重点项目(11ZCKFNC00500); 天津市科技支撑计划重大项目(10ZCZDSY06100); 天津市农科院院长基金项目(08021)

作者简介: 张峰峰(1983—), 河南洛阳人, 助理研究员, 硕士, 主要从事菌根真菌提高植物耐盐性方面研究。E-mail: izff@163.com。

侵染等级:

1 级——受感染的营养根占观察总根数的 0 ~ 5%; 2 级——受感染的营养根占观察总根数的 6% ~ 25%; 3 级——受感染的营养根占观察总根数的 26% ~ 50%; 4 级——受感染的营养根占观察总根数的 51% ~ 75%; 5 级——受感染的营养根占观察总根数的 76% ~ 100%。

2.3 孢子密度的测定

从带根土样中取 100 g 风干土 2 份, 一份在 105℃ 下烘干至恒重, 测定土壤含水量; 另一份用湿筛倾析法^[24]分离孢子, 在解剖镜下分格计数(孢子果按 1 个孢子计数), 按下列公式计算每 100 g 干土中的孢子数。

土壤含水量(%) = (土壤湿重 - 土壤干重) / 土壤湿重 × 100%

每 100 g 干土中的孢子数 = 孢子总数 × 100 / [土壤湿重 × (1 - 土壤含水量)]

2.4 pH 的测定

称取通过 1 mm 孔径筛子的风干土 25 g, 放入 50 ml 烧杯中, 加入蒸馏水 25 ml 用玻璃棒搅拌 1 min, 使土体充分散开, 放置 30 min, 此时应避免空气中有氨或挥发性酸的影响, 然后用 PHS-3C 型酸度计测定^[25]。

2.5 土壤盐含量的测定

电导率法^[25]测定土壤盐分含量。

3 结果与分析

在天津大港滨海盐碱地区共采集 9 科 23 种常见植物的根际土样, 样本植物及其菌根结构类型见表 1。

3.1 宿主植物与菌根结构类型

宿主植物影响 VA 菌根结构类型, 不同科属植物根细胞形态结构的差异可能是导致真菌侵染行为产生差异的基础^[8]。从本研究结果来看, 在侵染的 19 种植物中, 16 种植物为 A 型菌根, 3 种植物为 P 型菌根, A 型菌根具有明显的优势。从宿主的分类来看, 只有禾本科(Poaceae)的植物为 P 型菌根; 而豆科(Leguminosae), 菊科(Compositae), 柾柳科(Tamaricaceae), 蒺藜科(Zygophyllaceae), 蓝雪科(Plumbaginaceae)均为 A 型菌根, 可见菌根结构类型随盐生植物种类的不同而变化。有研究认为 VA 菌根不同结构类型的形成与真菌的种类有关^[26], 而 Smith 等人综合许多的研究认为菌根结构类型可能主要取决于植物种类本身, 从系统演化角度研究植物种类与共生真菌之间的关系更为合理^[22]。因此, 天津滨海盐

生植物 VA 菌根不同的结构类型是该地区所分布的植物种与真菌种协同进化的结果。

3.2 宿主植物与菌根侵染率和侵染等级

侵染率的高低因植物的种类不同而异, 在所调查的 23 种植物中有 19 种被 VA 菌根真菌侵染, 但其侵染率不同, 侵染等级也不同。其中, 紫穗槐(*A. fruticosa*), 碱菀(*T. vulgare*), 黄花苜蓿(*M. falcata*)等菌根侵染率较高, 可达 75% 以上, 侵染等级为 5 级, 说明它们对 VA 菌根真菌具有较强的依赖性。碱地蒲公英(*T. sinicum*), 紫花山葛苣(*L. tatarica*), 鹅绒藤(*C. chinensis*), 狗尾草(*S. viridis*)等植物菌根侵染率次之, 均能达到 50% 以上, 侵染等级为 4 级。而其他植物的菌根侵染率都较低, 侵染等级均在 3 级以下, 说明对 VA 菌根真菌的依赖性较弱。在藜科(Chenopodiaceae)植物 4 种植物盐地碱蓬(*S. salsa*), 东亚市藜(*C. urbicum*), 中亚滨藜(*A. centralasiatica*), 碱蓬(*S. glauca*)中均未发现菌根侵染, 这与国内外诸多研究结果一致^[27-28]。植物种之间侵染率的差异与不同植物种和 AM 真菌的亲性和性不同有关。同种植物侵染率的差异与真菌群落不同时空环境变化及土壤等条件下的变化有关。菌根侵染率是反映不同植物种类的菌根亲和性的一个重要指标, 因而可为研究盐生植物的菌根依赖性提供参考。

3.3 宿主植物与孢子密度

试验结果表明, 盐碱土中各种植物根际土的菌根真菌孢子密度都不高, 其中刺儿菜(*C. setosum*), 碱地蒲公英(*T. sinicum*)根际土中的孢子密度较高, 均能达到 90 个/100g。最低为紫花苜蓿(*M. sativa*), 根际土中没有发现孢子或孢子果存在, 在未侵染的藜科(Chenopodiaceae)植物 4 种植物根际土中也发现一定的孢子含量。分析结果表明, 各宿主植物的侵染率与孢子密度无相关性($P = 0.9740$, $r = 0.1841$, $n = 23$)。这与前人的研究结果相符^[28]。

3.4 宿主植物根际土 pH 值

已有研究证实, 土壤 pH 通过影响菌根真菌孢子的生存和萌发及菌丝的生长, 继而影响菌根真菌的生存和侵染势^[29]。中性偏酸的土壤环境有利于 VA 菌根真菌产孢, 过高的土壤 pH 值将会对 VA 菌根真菌的产孢产生抑制作用^[30]。土壤 pH 高低对植物的生存和生长状况也尤为重要, 因为 pH 的高低不仅直接关系到根系酶的活性, 还对各种元素的形态和有效性有很大影响。与此同时, 菌根真菌和植物的共生作用也影响了土壤 pH 值, 植物被菌根真菌侵染后, 改变了根系释放 H^+ 和 OH^- 的量及空间

分布,改变了根际附近各种元素和土壤酶的形态和活性,并为微生物和植物的生长提供了一个适宜的环境。本研究发现各种植物根际土的 pH 值差别不大。总体来说,除山莴苣(*L. indica*)和紫穗槐(*A. fruticosa*)之外,其他的植物均生长在 pH 值大于 8.0

以上的环境中,特别是白刺(*N. tangutorum*),碱蓬(*S. glauca*),鹅绒藤(*C. chinensis*),二色补血草(*L. bicolor*),狗尾草(*S. viridis*),虎尾草(*C. virgata*)等六种植物,其根际土的 pH 值在 8.5 以上,说明这六种植物适宜在较高 pH 值下生存。

表 1 盐生植物 AMF 状况
Table 1 The AMF of plants

宿主植物 Host species	菌根类型 VA type	侵染率 Colonization rate(%)	侵染强度 Infection intensity	孢子密度 Spore density (No./100g)	pH	盐度 Salt content (g/l)
蕁麻科 Zygophyllaceae						
白刺 <i>Nitraria tangutorum</i> Bobr.	A	35.64	3 级	35.03	8.50	10.09
柽柳科 Tamaricaceae						
柽柳 <i>Tamarix chinensis</i> Lour.	A	18.10	2 级	44.73	8.40	3.21
菊科 Compositae						
刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i> (Willd.) MB.	A	42.89	3 级	102.14	8.36	0.95
碱地蒲公英 <i>Taraxacum sinicum</i> Kitag	A	70.50	4 级	94.41	8.29	1.02
碱蒿 <i>Artemisia anethifolia</i> Web. ex Stechn.	A	38.68	3 级	21.60	8.32	1.92
碱莞 <i>Tripolium vulgare</i> Nees	A	84.76	5 级	28.32	8.36	1.48
山莴苣 <i>Lactuca indica</i> L.	A	16.07	2 级	5.95	7.92	0.48
紫花山莴苣 <i>Lactuca tatarica</i> (L) C. A. Mey	A	63.12	4 级	66.73	8.32	1.38
豆科 Leguminosae						
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	A	15.63	2 级	30.05	8.34	6.93
黄花苜蓿 <i>Medicago falcata</i> L.	A	83.87	5 级	26.97	8.11	2.19
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	A	17.19	2 级	4.01	8.22	0.70
紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i> Linn.	A	78.48	5 级	25.46	7.99	1.03
藜科 Chenopodiaceae						
碱地肤 <i>Kochia scoparia</i> var. <i>sieversiana</i> (Pall.) Ulbr. ex Asche	A	13.96	2 级	53.73	8.30	3.16
东亚市藜 <i>Chenopodium urbicum</i> subsp. <i>sinicum</i>	—	0	1 级	14.97	8.35	1.29
盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i> (Linn.) Pall.	—	0	1 级	26.58	8.25	4.89
中亚滨藜 <i>Atriplex centralasiatica</i> Hjin.	—	0	1 级	11.90	8.18	2.22
碱蓬 <i>Suaeda glauca</i> Bge.	—	0	1 级	28.41	8.55	18.65
萝藦科 Asclepiadaceae						
鹅绒藤 <i>Cynanchum chinensis</i> R. Br.	A	56.14	4 级	49.08	8.64	3.26
蓝雪科 Plumbaginaceae						
二色补血草 <i>Limonium bicolor</i> (Bunge) Kuntze	A	31.58	3 级	21.18	8.72	3.83
禾本科 Poaceae						
狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	P	58.90	4 级	26.25	8.54	1.53
虎尾草 <i>Chloris virgata</i> Sw.	P	21.16	2 级	20.88	8.54	3.70
芦苇 <i>Phragmites australis</i> Trin.	P	40.07	3 级	53.31	8.37	8.10
藎草科 Boraginaceae						
砂引草 <i>Tournefortia sibirica</i>	A	7.38	2 级	20.93	8.48	3.09

注: A、疆南星型; P、重楼型; —: 未侵染。
Note: A, Arum - type; P, Paris - type; - : No infection.

3.5 宿主植物根际土盐分含量

由表 1 可以看出,不同植物根际土的盐分含量差异较大,其中,碱蓬(*S. glauca*),白刺(*N.*

tangutorum),芦苇(*P. australis*),刺槐(*R. pseudoacacia*)根际土中的盐分含量均大于 0.6%,可在重度盐碱土中生长;盐地碱蓬(*S. salsa*),柽柳(*T. chi-*

nensis), 碱地肤 (*K. scoparia*), 鹅绒藤 (*C. chinensis*), 二色补血草 (*L. bicolor*), 虎尾草 (*C. virgata*), 砂引草 (*T. sibirica*) 根际土中的盐分含量为 0.3% ~ 0.6% 之间, 可在中度盐碱土中生长; 而其他植物根际土的盐分含量在 0.3% 以下, 可在轻度盐碱土中生长。植物根际的盐分含量和其自身的耐盐性有关, 虽然 VA 菌根在一定程度上提高了植物的耐盐胁迫能力, 但是, 盐胁迫也对 VA 菌根真菌产生了一定的负面影响。有研究表明, 在达到一定盐度后, 植物的菌根侵染率和孢子量与盐度负相关。盐胁迫主要通过减缓或抑制孢子萌发、阻碍菌丝生长等间接影响真菌的传播、菌根的形成及菌根的功能^[8]。因此, 在以后的接种中不仅要考虑植物的耐盐性, 还要考虑菌根真菌的耐盐性。

4 结论与讨论

在植物与菌根真菌的共生系统中, 丛枝被认为是两者之间进行物质和能量交换的主要场所^[31]。根据根内丛枝和菌丝的不同结构特点, 丛枝菌根早期分为 2 个主要类型, 疆南星型 (*Arum-type*) 和重楼型 (*Paris-type*), 后来的研究报道中又出现了中间型 (*Intermediate-type*)。丛枝的形态结构差异与菌根真菌的种类以及宿主根系皮层细胞的结构有关。Arum 类型的特征为: 菌丝在宿主皮层细胞间隙生长, 形成大量胞间菌丝, 并侧向分枝进入细胞, 通过顶端不断分叉形成典型的丛枝结构。而 Paris 类型的菌丝在皮层细胞内卷曲、缠绕生长, 并在皮层细胞间直接传播, 胞间菌丝较少, 丛枝结构形成于卷曲的菌丝之间, 且多限于紧贴中柱的几层内部皮层细胞。中间型 (近重楼型) 皮层细胞中存在大量菌丝圈, 同时根内存在少量胞间菌丝。

由于 AMF 与不同宿主植物之间的亲和力不同, 丛枝菌根的结构类型具有植物科属分布的特点^[8]。最初的一些研究表明, 自然生态系统中的野生植物多形成 Paris 类型的菌根。但近年孙芬^[32]等的研究表明, 在鄂尔多斯地区 Arum 类型数量远高于 Paris 类型, 还有一部分是中间类型。这与包玉英^[33]等的报道很相似。包玉英在 131 种菌根植物中发现, Arum 类型比例亦远远高于 Paris 类型, 发现百合科 (*Liliaceae*)、菊科 (*Compositae*)、豆科 (*Leguminosae*) 和蔷薇科 (*Rosaceae*) 植物中 Arum 类型菌根比例较高, 禾本科 (*Gramineae*)、唇形科 (*Labiatae*)、桔梗科 (*Campanulaceae*) 多为 Paris 类型菌根, 本文对天津滨海盐碱土中主要盐生植物 VA 菌根结构类型的研究也证明了这一点, 即菌根结构类型多取决于植物种类, 与

宿主植物的科属分布密切相关, 同时也与真菌自身遗传特性种类有关^[33]。

植物的菌根侵染率和根际土孢子密度代表了植物的菌根化程度以及两者之间的相互依赖性。唐明^[10]对内蒙古盐碱土中 13 种主要植物进行菌根侵染状况调查, 发现 13 种主要植物均能被 AM 真菌侵染, 其中玉米和马蔺的侵染率最高, 达 100%; 根际土壤中 AM 真菌孢子密度范围为 29 ~ 182 个/g; 其平均侵染率和孢子密度高达 61.44% 和 71 个/g。盛敏^[11]对西北盐碱土中 25 种盐生植物的菌根侵染情况进行调查, 发现乌拉尔甘草、羊草、沙枣、棉花、枸杞菌根侵染率最高, 达 100%, 小麦根际干土中孢子密度最高, 为 308.6 个/g。天津滨海地区由于其特殊的气候和地理条件, 盐碱土中盐生植物具有滨海盐土的代表性, 本实验中 19 种盐生植物都被菌根真菌侵染, 其中碱菴菌根侵染率最高, 达 84.76%, 表明滨海盐碱土生态系统中植物对菌根真菌具有较高的依赖性。根际土壤中孢子密度都不高, 最高的刺儿菜仅为 102.14 个/100g, 说明菌根在盐碱土中产孢能力较弱, 但菌根对不同宿主的侵染率和产孢能力并不相同。和前人研究结果存在很大差异, 其主要原因是, 不同地理环境下环境因子不同, 而环境因子与植物侵染率及孢子密度间存在很大的相关性。

有研究认为各种生态因子均不同程度地影响着 VA 菌根的分布、侵染、产孢及其生理效应^[34], 尤以土壤因子对丛枝菌根的影响最为突出。Michelini S.^[35]研究了矿质营养、有机质、土壤 pH 值等对 VA 菌根发育的影响, 发现其在不同地区的侵染状况显著不同, 区域特征与菌根侵染之间具有显著的相关性。本研究通过对天津滨海盐碱土中不同植物侵染率, 根际土的 pH 值和盐分含量进行了测定, 发现植物的菌根侵染率和植物本身的种类和特性有关; 植物根际土的盐分含量也与植物本身的耐受性有关; 植物对土壤盐分利用的方式不同而导致同地区的不同植物根际土含盐量的差异; 但本试验并没有发现 pH 值, 土壤盐分含量对菌根侵染率和菌根真菌孢子密度的相关性, 具体的影响机理还需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] 王遵亲. 中国盐渍化 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 14-85.
- [2] 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [3] 殷小琳, 王冬梅, 丁国栋, 等. 菌根对植物抗盐碱性的影响机理研究 [J]. 北方园艺, 2010, (5): 229-233.
- [4] 贺忠群, 贺超兴, 张志斌, 等. 丛枝菌根真菌提高植物耐盐性的

- 作用机制[J].西北植物学报,2007,27(2):414-420.
- [5] 刘润进,刘鹏起,徐坤,等.中国盐碱土壤中AM菌的生态分布[J].应用生态学报,1999,10(6):721-724.
- [6] 王发园,刘润进.黄河三角洲盐碱地的丛枝菌根真菌[J].菌物系统,2002,21(2):196-202.
- [7] 张金政,刘杏忠,缪作清,等.中国盐碱土壤中AM菌的初步调查[J].莱阳农学院学报,1999,16(1):16-20.
- [8] 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.
- [9] 张峰峰,唐明,盛敏,等.甘肃地区盐碱土中VA菌根真菌的研究[J].西北植物学报,2007,27(1):115-120.
- [10] 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.
- [11] 盛敏,唐明,迪丽努尔,等.西北盐碱土主要植物丛枝菌根研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(2):74-78.
- [12] 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,1998,7(3):21-28.
- [13] 盛敏.VA菌根真菌提高玉米耐盐性机制与农田土壤微生物多样性研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [14] 李海,刘润进,陈敏,等.盐渍条件下AM真菌对大豆生长和离子含量的影响[J].菌物学报,2009,28(3):410-414.
- [15] 贺忠群,邹志荣.盐胁迫下丛枝菌根真菌对番茄细胞膜透性及谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(12):53-57.
- [16] 李敏,辛华,郭绍霞,等.AM真菌对盐渍土中番茄、辣椒生长和矿质养分吸收的影响[J].莱阳农学院学报,2005,22(1):38-41.
- [17] 任志雨,贺超兴,李树和,等.丛枝菌根真菌对有机栽培黄瓜生长、产量和品质的影响[J].华北农学报,2006,23(6):135-168.
- [18] 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.
- [19] 冯长根,任玉华,李华.盐胁迫下‘霞多丽’葡萄幼苗接种地表球囊霉效应初探[J].园艺学报,2004,31(1):84-86.
- [20] 杨瑞红,刘润进,刘成连,等.AM真菌和水杨酸对草莓耐盐性的影响[J].中国农业科学,2009,42(5):1590-1594.
- [21] 刘德义,傅宁,范锦龙.近20年天津地区植被变化及其对气候变化的响应[J].生态环境,2008,17(2):798-801.
- [22] Smith F A., Smith S E. Structural diversity in (vesicular) - arbuscular mycorrhizal symbioses[J]. New Phytologist, 1997,137:373-388.
- [23] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1970,55:158-160.
- [24] 弓明钦,陈应龙,仲崇禄.菌根研究及应用[M].北京:中国林业出版社,1997.
- [25] 鲍士旦.土壤酸化分析[M](第三版).北京:中国农业出版社,2005.
- [26] Cavagnaro T R, Gao L L, Smith F A, et al. Morphology of arbuscular mycorrhizas is influenced by fungal identity[J]. New Phytologist, 2001,151:469-475.
- [27] Bolan N S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants[J]. Plant and Soil, 1991,134:202-207.
- [28] Treu R, Laursen G A, Stephenson S L, et al. Mycorrhizae from Denali National Park and Preserve[J]. Alaska. Mycorrhiza, 1996,6:21-29.
- [29] 王曙光,林先贵,施亚琴.丛枝菌根(AM)与植物的抗逆性[J].生态学杂志,2001,20(3):27-30.
- [30] 董京华,冯固,李晓林.我国北方农田土壤中AM真菌的多样性[J].生物多样性,2004,12(4):435-440.
- [31] Oliveira R S, Dodd J C. The mycorrhizal status of Phragmites australis in several polluted soils and sediments of an industrialized region of Northern Portugal[J]. Mycorrhiza, 2001,(10):241-247.
- [32] 孙芬.鄂尔多斯地区丛枝菌根植物与菌根真菌多样性研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2006.
- [33] 包玉英,孙芬,闫伟.内蒙古荒漠地区丛枝菌根植物的初步研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(3):180-184.
- [34] 盛敏,唐明,张峰峰,等.土壤因子对西北盐碱土中VA菌根真菌的影响[J].土壤学报,2008,45(4):758-763.
- [35] Michelini S. Relationship between environmental factors and levels of mycorrhizal infection of citrus on four islands in the Eastern Caribbean [J]. Tropical Agriculture, 1993,70(20):135-140.

Status of VA mycorrhizal fungi resources in saline - alkaline soil of Tianjin

ZHANG Feng-feng, ZHOU Ke, ZHAO Yu-jie, XIE Feng-xing, LI Ya-ling

(Tianjin Research Center of Agricultural Biotechnology, Tianjin 300192, China)

Abstract: The status of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) of 23 halophytes in saline alkaline soil of Tianjin was surveyed. It was found that 19 species formed VAM. The VAM structural types were correlated with the family of host plants, such as Leguminosae, Compositae and Tamaricaceae were the Arum-type, and Poaceae belonged to the Paris-type. The AM colonization rate was only affected by the host plants. No significant correlation was detected between AM fungal spore density and colonization rate.

Keywords: saline-alkaline soil; VAM colonization rate; spore density; VAM structural type