

土壤因子对西北盐碱土中 VA 菌根真菌的影响*

盛 敏¹ 唐 明^{2†} 张峰峰² 黄艳辉¹ 杨保伟³

(1 西北农林科技大学生命科学院, 陕西杨凌 712100)

(2 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)

(3 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

EFFECT OF SOIL FACTORS ON ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN NORTHWEST SALINE ALKALINE SOIL

Sheng Min¹ Tang Ming^{2†} Zhang Fengfeng² Huang Yanhui¹ Yang Baowei³

(1 College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(3 College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

关键词 盐碱土; VA 菌根真菌; 土壤因子

中图分类号 Q938.1

文献标识码

A

大量研究表明,盐碱土中存在着丰富的泡囊丛枝(Vesicular Arbuscular, VA)菌根真菌^[1,2],但其丰富程度受多种因素的影响,如宿主植物种类、土壤因子和环境因子等等^[3]。近年来,国外一些学者初步探索了盐碱土中土壤因子与VA菌根真菌生长和发育间的关系^[4],其中以 Aliasgharzadeh等^[5]的研究较为系统,他们发现大不里士(伊朗西北部城市)盐碱土中VA菌根真菌孢子密度与土壤中砂粒的百分含量呈显著正相关,与Mg²⁺、Ca²⁺、Na⁺、Cl⁻、土壤黏粒和速效磷含量呈显著负相关;VA菌根真菌侵染率与土壤中砂粒的百分含量呈显著正相关,与EC(电导率)、盐度及Mg²⁺、Ca²⁺、Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻和速效磷含量呈显著负相关。国内该领域的研究尚属起步阶段^[6-8]。西北地区位于我国干旱半干旱区域,其独特的气候和地理状况为盐碱土的发生和发育提供了条件。据统计,全国约有3693万hm²现代(活化)盐碱土,其中西北地区约占60%,同时,与灌溉有关的200万hm²盐碱化土壤也有近70%分布在西北地区^[9]。为此,本文首次对西北盐碱土中不同土壤因子对VA菌根真菌侵染率和产孢量的影响进

行了研究,旨在为菌根技术在盐碱土改良中的应用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 样品采集

在西北主要类型盐碱土中采集25种主要植物根系和根围土壤样品。随机选取5株植物,每株按东西南北4个方位,除去5cm厚的表层土后,在其根围(采样深度为5~20cm)取根系和根际土2kg,编号装入袋中,记录采集时间、地点、植物根围环境等等(表1)。

1.2 VA菌根真菌侵染率和孢子密度的测定

根系样品采用透明压片法制片,镜检丛枝、泡囊、菌丝等结构特征,测定菌根侵染率^[10]。分别从各带根土样中取100g风干土两份,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分离孢子,在解剖镜下分格计数,计算菌根真菌孢子密度^[11]。

* 国家自然科学基金项目(30225035)、国家自然科学基金重点项目(30630054)、国家“十一五”科技支撑项目资助2006BAD08A1202

† 通讯作者, E-mail: tangm@nwsuaf.edu.cn

作者简介:盛敏(1977~),女,四川邛崃人,博士研究生,主要从事土壤微生物学研究

收稿日期:2006-11-14;收到修改稿日期:2007-01-12

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

孢子密度 (个 100 g 干土⁻¹) = 孢子总数 × 100 / [土壤湿重 × (1 - 土壤含水量)]

1.3 土壤理化性质测定

采用重铬酸钾硫酸氧化法测定有机质含量;碱扩散法 (1 mol L⁻¹ NaOH) 测定碱解氮;碳酸氢钠浸

提 钼锑比色法测定速效磷; 1 mol L⁻¹ 乙酸铵浸提 - 原子吸收法测定速效钾; 电位法 (水土比 2.5 : 1) 测定 pH; 质量法测定水溶性全盐; 双指示剂法测定 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻; 原子吸收分光光度法测定 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺; 硫酸钡比浊法测定 SO₄²⁻; 流动分析仪测定 Cl⁻ [12]。

表 1 采样点概况

土壤类型	采样地点	植物种类 (样品编号)	海拔 (m)	经纬度
碱土	宁夏平罗	大米草 (01)、芨芨草 (02)、白刺 (03)	1 099	38°48' N, 106°16' E
	内蒙古哲里木盟奈曼旗	寸草 (04)、冰草 (05)、盐角草 (06)、芦苇 (07)、马蔺 (08)	513	42°51' N, 120°39' E
盐化灌淤土	甘肃安西	苜蓿 (09)、小麦 (10)	1 135	40°29' N, 95°36' E
	甘肃敦煌	棉花 (11)	1 050	40°25' N, 94°41' E
	甘肃玉门镇	甘草 (12)	1 404	40°26' N, 97°0' E
	宁夏平罗	玉米 (13)、葱 (14)、水稻 (15)、枸杞 (16)	1 099	38°48' N, 106°16' E
盐土	内蒙古科尔沁左翼中旗	葵花 (17)	259	45°3' N, 121°28' E
	甘肃敦煌	骆驼刺 (18)	1 050	40°25' N, 94°41' E
	甘肃玉门镇	沙枣 (19)、马蔺 (20)、芨芨草 (21)	1 404	40°26' N, 97°0' E
	宁夏平罗	胡杨 (22)、椿树 (23)、砂柳 (24)、冰草 (25)	1 099	38°48' N, 106°16' E
	内蒙古呼和浩特市托克托县	白刺 (26)、芦苇 (27)	986	40°17' N, 111°9' E
	内蒙古哲里木盟奈曼旗	柠条 (28)	513	42°51' N, 120°39' E
	内蒙古科尔沁左翼中旗	羊草 (29)、筛草 (30)	259	45°3' N, 121°28' E

1.4 数据分析

采用 SAS 统计分析软件包对试验数据进行统计分析 [13]。

2 结果与分析

2.1 VA 菌根真菌侵染率和孢子密度及土壤理化性状

对所采土样的 CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、水溶性全盐、有机质、速效磷、速效钾、速效氮含量和 pH 等因子进行测定, 结果见表 2。所调查的 25 种植物均被 VA 菌根真菌侵染, 其侵染率最高的达 100 % (如棉花、沙枣、马蔺、甘草、枸杞、羊草), 最低的仅为 3.13 % (如盐角草), 平均侵染率为 66.54 %; 孢子密度最高为 30 861 个 100 g 干土⁻¹ (如小麦), 最低为 2 435 个 100 g 干土⁻¹ (如葵花), 平均孢子密度为 7 481 个

100 g 干土⁻¹ (表 2)。

2.2 土壤因子与 VA 菌根真菌侵染率和孢子密度的关系

相关分析结果表明, 盐碱土中植物根际 VA 菌根真菌的孢子密度与 SO₄²⁻ 含量呈显著负相关。VA 菌根真菌侵染率与 HCO₃⁻ 含量呈极显著负相关, 与 CO₃²⁻ 含量和土壤 pH 呈显著负相关。这一结果表明高土壤 pH (土壤中 HCO₃⁻ 和 CO₃²⁻ 含量增加将导致土壤 pH 上升) 降低了 VA 菌根真菌对植物根系的侵染, 而对其产孢却无明显影响, 究其原因可能是高土壤 pH 对 VA 菌根真菌孢子的萌发和土壤养分的释放均有一定的抑制作用, 同时土壤碱化后土壤的物理结构遭到破坏, 土壤紧实, 通气性差, 这均会抑制菌丝的生长及其在土壤中的延伸, 从而减少了 VA 菌根真菌与植物根系的接触机会, 故其侵染率降低 (表 3)。

表 2 各样点的土壤理化性质和 VA 菌根真菌孢子密度和侵染率

样品 编号	孢子密度 (个 100 g 干土 ⁻¹)	侵染率 (%)	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	水溶性 全盐	pH	有机质 (g kg ⁻¹)	速效 磷	速效 钾	速效 氮
			(mg kg ⁻¹)											(mg kg ⁻¹)		
01	8 355	74.4	624	440	99.3	88.8	330	188	13.4	299	6.00	9.90	3.40	4.63	163	19.2
02	2 590	59.1	589	454	798	90.6	945	257	9.49	309	8.00	9.55	6.70	6.88	278	47.7
03	5 217	73.1	57.6	254	922	92.3	1 751	59.2	147	39.1	3.80	8.74	5.50	3.62	272	37.8
04	4 635	52.9	666	540	8.20	93.5	374	202	10.6	244	6.60	10.0	1.40	17.0	198	11.9
05	7 863	29.4	1 284	1 202	416	95.3	941	358	10.7	379	12.6	10.0	3.40	45.1	604	22.5
06	4 933	3.13	2 334	1 689	278	96.9	1 859	550	10.7	433	11.6	10.1	6.00	135	1 304	24.2
07	6 301	57.1	431	569	88.2	97.8	469	126	8.27	127	5.50	9.51	5.10	12.4	285	41.0
08	5 102	89.2	329	556	147	98.3	552	109	8.98	116	4.50	9.39	6.10	26.4	224	48.4
09	7 578	67.7	46.2	155	32.7	72.4	27.6	16.4	26.9	33.2	0.40	8.59	6.90	6.96	111	43.3
10	30 861	22.9	0.00	228	60.4	73.9	81.8	32.2	51.1	76.9	0.80	8.45	9.00	24.8	112	61.7
11	8 289	100	0.00	156	95.2	75.0	93.9	92.9	1 776	235	7.40	7.69	3.90	12.7	263	28.5
12	11 737	100	52.2	368	22.3	81.9	41.8	42.2	39.8	104	0.50	8.59	14.5	111	167	88.6
13	11 320	71.7	0.00	218	1 877	82.2	1 167	97.6	315	423	6.40	8.25	7.90	7.04	374	60.9
14	9 394	43.9	0.00	255	351	82.9	316	39.0	103	125	1.90	8.36	7.70	6.69	253	66.4
15	10 153	5.00	0.00	223	214	86.9	132	117	196	93.1	1.30	8.23	6.70	12.8	169	56.8
16	5 484	100	0.00	211	105	89.4	114	22.4	292	75.4	2.10	8.24	6.50	38.3	238	46.2
17	2 435	54.8	71.4	339	33.2	102	118	29.1	15.5	21.5	1.10	8.92	4.10	17.1	178	53.3
18	7 932	97.5	0.00	196	3 065	76.4	1 514	282	1 069	364	10.3	7.88	10.6	26.8	519	69.3
19	7 110	100	0.00	259	773	78.8	529	184	591	522	6.30	7.95	14.9	4.99	335	85.4
20	8 207	100	51.0	418	32.1	79.7	45.8	45.5	49.7	93.3	0.90	8.49	19.3	13.2	122	107
21	6 065	66.7	0.00	264	2 052	80.4	1 293	672	568	1 355	14.2	8.41	14.7	72.8	1 007	70.4
22	4 256	48.9	370	219	148	82.8	243	40.9	14.4	36.4	1.50	9.45	2.30	4.54	119	14.8
23	5 715	67.7	117	293	211	84.2	248	50.9	20.1	39.4	1.30	9.04	4.00	4.25	153	33.5
24	6 312	48.6	23.4	251	199	85.3	166	40.4	56.7	54.0	1.30	8.54	5.50	15.4	488	37.4
25	4 219	92.5	22.8	250	1 417	88.2	1 211	78.3	105	245	5.30	8.54	7.70	4.35	259	49.3
26	3 234	77.8	888	514	1 462	92.2	1 332	237	11.8	187	5.00	9.97	7.60	12.6	313	12.7
27	5 588	80.0	672	39.0	1 010	92.9	1 278	58.8	11.1	22.0	4.20	9.57	2.00	3.60	204	13.9
28	5 946	87.1	39.0	155	13.6	98.2	18.5	15.2	23.3	22.4	0.60	8.78	0.80	4.80	38.6	20.0
29	6 637	100	140	296	23.8	102	135	34.6	10.6	35.1	1.40	9.18	4.30	5.80	178	40.3
30	10 978	25.0	121	1 684	92.0	103	703	353	14.5	206	1.70	9.97	3.70	11.0	229	31.2

注:表中各数据均为 5 次重复的平均值

表 3 VA 菌根真菌侵染率和孢子密度与土壤因子的相关系数

项目	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}
孢子密度	-0.114	-0.419*	-0.238	-0.038	-0.254	-0.138	0.044	-0.059	-0.216	-0.272	0.224	0.068	-0.162	0.307
侵染率	0.228	-0.192	-0.437*	-0.537**	-0.103	-0.343	0.349	-0.032	-0.088	-0.393*	0.301	-0.207	-0.323	0.273

注: (1) x_i ($i=1\sim 14$) 分别指 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、水溶性全盐、pH、有机质、速效磷、速效钾、速效氮。下同;

(2) * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ 。下同

2.3 土壤因子对 VA 菌根真菌侵染率和孢子密度的影响

2.3.1 土壤因子对 VA 菌根真菌孢子密度的影响
 通径分析结果显示,土壤因子对 VA 菌根真菌孢子密度直接影响大小顺序为: SO_4^{2-} > 有机质 > 速效钾 > HCO_3^- > 速效氮 > pH > 速效磷 > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+ > CO_3^{2-} > 水溶性全盐 > Cl^- ; SO_4^{2-} 对 VA 菌根真菌孢子密度有显著直接负效应,其余土壤因子的直接效应均不显著。 Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、

K^+ 、水溶性全盐、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和有机质对 VA 菌根真菌孢子密度的直接通径系数小于其间接通径系数之和,而 SO_4^{2-} 、pH、速效磷、速效钾和速效氮则与之相反,故 Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、水溶性全盐和有机质主要是通过间接作用来影响 VA 菌根真菌孢子密度,而 pH、 SO_4^{2-} 、速效磷、速效钾和速效氮则主要是通过直接作用对其进行影响(表 4)。

表 4 土壤因子与 VA 菌根真菌孢子密度的通径分析

项目	x_1	y	x_2	y	x_3	y	x_4	y	x_5	y	x_6	y	x_7	y	x_8	y	x_9	y	x_{10}	y	x_{11}	y	x_{12}	y	x_{13}	y	x_{14}	y
x_1	-0.006 ¹⁾		0.191		-0.006		-0.101		0.096		0.045		-0.103		0.145		-0.091		0.096		-0.219		0.004		-0.253		0.088	
x_2	0.002		-0.729 ¹⁾ *		0.033		0.276		0.021		0.014		0.135		-0.052		0.001		-0.250		0.371		0.005		-0.026		-0.220	
x_3	0.001		-0.289		0.084 ¹⁾		0.372		0.064		0.058		0.075		0.034		-0.082		-0.273		0.187		0.138		-0.377		-0.230	
x_4	0.001		-0.367		0.057		0.549 ¹⁾		0.043		0.066		0.069		0.042		-0.054		-0.238		0.094		0.127		-0.315		-0.112	
x_5	-0.005		-0.117		0.040		0.176		0.134 ¹⁾		0.066		-0.019		0.120		-0.110		-0.091		-0.032		0.070		-0.412		-0.074	
x_6	-0.003		-0.091		0.045		0.331		0.081		0.109 ¹⁾		-0.039		0.218		-0.134		-0.122		-0.117		0.147		-0.531		-0.032	
x_7	-0.003		0.361		-0.023		-0.140		0.009		0.015		-0.271 ¹⁾		0.089		-0.061		0.228		-0.132		-0.000 9		-0.110		0.083	
x_8	-0.003		0.144		0.011		0.088		0.061		0.090		-0.092		0.263 ¹⁾		-0.128		0.030		-0.284		0.105		-0.448		0.103	
x_9	-0.004		0.004		0.043		0.183		0.091		0.090		-0.202		0.208		-0.062 ¹⁾		-0.064		-0.069		0.106		-0.495		-0.045	
x_{10}	0.002		-0.493		0.062		0.354		0.033		0.036		0.167		-0.021		-0.028		-0.369 ¹⁾		0.344		0.034		-0.089		-0.304	
x_{11}	-0.002		0.390		-0.023		-0.075		0.006		0.018		-0.052		0.107		-0.016		0.183		-0.693 ¹⁾		0.084		-0.122		0.419	
x_{12}	-0.000 08		-0.012		0.042		0.255		0.034		0.059		0.000 9		0.101		-0.063		-0.046		-0.213		0.273 ¹⁾		-0.443		0.080	
x_{13}	-0.002		-0.030		0.049		0.270		0.086		0.091		-0.047		0.184		-0.125		-0.051		-0.132		0.189		-0.640 ¹⁾		-0.004	
x_{14}	-0.001		0.343		-0.041		-0.132		-0.021		-0.007		-0.048		0.058		0.016		0.240		-0.620		0.047		0.005		0.468 ¹⁾	

1) 为直接通径系数,其余为间接通径系数。下同

2.3.2 土壤因子对 VA 菌根真菌侵染率的影响

土壤因子对 VA 菌根真菌侵染率的直接影响大小顺序为: K^+ > 有机质 > 速效氮 > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > pH > Mg^{2+} > 水溶性全盐 > CO_3^{2-} > Cl^- > 速效磷 > 速效钾 > HCO_3^- > Na^+ , 其中 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 和有机质对 VA 菌根真菌侵染率分别有显著和极显著的直接正效应,而速效氮和 K^+ 对其的作用分别为显著和极显著的直接负效应,其余土壤因子的直接效应均不显

著。pH、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Mg^{2+} 、水溶性全盐、 Na^+ 、速效磷、速效钾和速效氮对 VA 菌根真菌侵染率的间接通径系数之和大于其直接通径系数,而 Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和有机质则与之相反,故土壤 pH、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Mg^{2+} 、水溶性全盐、速效磷、 Na^+ 、速效钾和速效氮主要是通过间接作用来影响 VA 菌根真菌侵染率,而 Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和有机质则主要是通过直接作用进行影响(表 5)。

表 5 土壤因子与 VA 菌根真菌侵染率的通径分析

项目	x_1	y	x_2	y	x_3	y	x_4	y	x_5	y	x_6	y	x_7	y	x_8	y	x_9	y	x_{10}	y	x_{11}	y	x_{12}	y	x_{13}	y	x_{14}	y
x_1	0.302 ¹⁾		-0.161		0.027		0.011		-0.111		-0.636		0.222		0.260		0.232		-0.134		0.438		0.004		-0.048		-0.178	
x_2	-0.079		0.616 ¹⁾ *		-0.148		-0.031		-0.025		-0.193		-0.291		-0.093		-0.002		0.351		-0.741		0.005		-0.005		0.444	
x_3	-0.022		0.244		-0.372 ¹⁾		-0.041		-0.073		-0.825		-0.163		0.061		0.209		0.384		-0.375		0.145		-0.071		0.462	
x_4	-0.056		0.310		-0.252		-0.061 ¹⁾		-0.049		-0.938		-0.150		0.076		0.137		0.335		-0.189		0.133		-0.059		0.226	
x_5	0.218		0.099		-0.277		-0.070		-0.004 ¹⁾		-0.941		0.041		0.214		0.279		0.128		0.064		0.074		-0.077		0.149	
x_6	0.124		0.077		-0.198		-0.037		-0.094		-1.552 ¹⁾ **		0.083		0.390		0.339		0.172		0.235		0.155		-0.100		0.063	
x_7	0.114		-0.305		0.103		0.016		-0.011		-0.220		0.586 ¹⁾ *		0.159		0.154		-0.321		0.264		-0.001		-0.021		-0.168	
x_8	0.167		-0.122		-0.049		-0.010		-0.070		-1.285		0.199		0.470 ¹⁾		0.325		-0.042		0.567		0.110		-0.084		-0.208	
x_9	0.171		-0.003		-0.190		-0.020		-0.105		-1.282		0.220		0.372		0.411 ¹⁾		0.090		0.138		0.112		-0.093		0.091	
x_{10}	-0.078		0.416		-0.275		-0.039		-0.038		-0.513		-0.362		-0.038		0.071		0.520 ¹⁾		-0.687		0.036		-0.017		0.611	
x_{11}	0.096		-0.329		0.101		0.008		-0.007		-0.263		0.112		0.192		0.041		-0.258		1.386 ¹⁾ **		0.088		-0.023		-0.843	
x_{12}	0.004		0.010		-0.188		-0.028		-0.040		-0.837		-0.002		0.181		0.160		0.065		0.425		0.287 ¹⁾		-0.083		-0.161	
x_{13}	0.120		0.025		-0.220		-0.030		-0.099		-1.289		0.101		0.329		0.318		0.072		0.264		0.199		-0.120 ¹⁾		0.007	
x_{14}	0.057		-0.290		0.183		0.014		0.024		0.105		0.104		0.104		-0.040		-0.337		1.240		0.049		0.009		-0.942 ¹⁾ *	

3 讨论

在盐碱土中,盐分是影响 VA 菌根真菌的主要因素,但在已经报道的研究中却存在两种不同的研究结果。一种研究认为在盐胁迫条件下,植物根际土壤中的 VA 菌根真菌孢子密度和侵染率与土壤电导率、盐度及 Na^+ 含量等呈负相关^[14,15],如 Cooker 等^[16]在盐性沙漠土(盐度范围在 $1.26 \sim 13.0 \text{ dS m}^{-1}$)中的研究表明,耐盐性草本植物根际的 VA 菌根真菌孢子密度与土壤含盐量呈显著负相关,Pond 等^[14]在加利福尼亚和内华达州盐性土壤(盐度为 185 dS m^{-1})中发现田间接种 VA 菌根真菌于马铃薯根际,其菌根侵染率和盐度呈负相关,随后 Juniper 等^[17]研究也发现 NaCl 能降低一些 VA 菌根真菌(如 *Scutellospora calospora*, *Acaulospora laevis*)对植物根系的侵染能力,主要是由于 NaCl 直接影响 VA 菌根真菌繁殖体的萌发而降低了菌丝的生长量;另一种研究认为 VA 菌根真菌孢子密度与土壤盐度无关,而与土壤中砂粒或黏粒、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、速效磷含量有显著的相关性^[5]。相关研究进一步表明土壤中盐分对 VA 菌根真菌的影响还受多种环境条件的影响,如 Kim 等^[18]调查了美国干盐湖周围及中心地带盐生植物的 VA 菌根真菌,发现土壤的灌溉条件影响盐草根际 VA 菌根真菌孢子密度和侵染率与土壤中 Na^+ 含量的相关性,在灌溉条件不好的地区 VA 菌根真菌孢子密度和侵染率与土壤

中 Na^+ 含量呈负相关,而在灌溉条件好的地区则没有相关性。

从本研究结果来看,相关分析显示 VA 菌根真菌的孢子密度和侵染率与水溶性全盐和 Na^+ 含量无关,通径分析进一步分析可知,水溶性全盐和 Na^+ 对 VA 菌根真菌孢子密度和侵染率的直接作用均小于其间接作用,其对 VA 菌根真菌孢子密度和侵染率的影响主要是通过间接作用来实现的,如 Na^+ 能通过影响速效钾而间接地降低 VA 菌根真菌的孢子密度(间接作用系数为 -0.412),但 Na^+ 也可能通过影响其他土壤因子(如 HCO_3^- 、 Mg^{2+})来增加 VA 菌根真菌的孢子密度。水溶性全盐或 Na^+ 对 VA 菌根真菌的影响处于一个动态变化之中,也就是说土壤中其他元素含量的变化可能会影响水溶性全盐或 Na^+ 对 VA 菌根真菌的作用,Steme 等^[19]和 Brownell 等^[20]在研究渗透胁迫和离子对其他一些微生物的影响中,也曾得到相似的结论。由于不同地区的土壤性质不同(如土壤质地、养分和水分状况等等),故在不同盐碱地区分析土壤中水溶性盐或 Na^+ 含量对 VA 菌根真菌的影响时可能会得出相反的结果。

本研究还发现,同一土壤因子对 VA 菌根真菌侵染率和产孢量的影响不同。如 SO_4^{2-} 含量与 VA 菌根真菌的孢子密度有显著的相关性,但与 VA 菌根真菌的侵染率却无相关性;土壤的速效养分(速效磷、速效钾和速效氮)主要是通过直接作用影响 VA 菌根真菌的产孢,而对其侵染则主要是通过间接作用实现的; SO_4^{2-} 对 VA 菌根真菌产孢有显著直

接负效应,但对其侵染却有显著直接正效应。综上所述,土壤因子对 VA 菌根真菌侵染率和产孢量的影响是一个复杂的过程,在其作用过程中可能存在着不同的作用机制,尚待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Oliveira R S, Vosatka M, Dodd J C, *et al*. Studies on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and the efficacy of two native isolates in a highly alkaline anthropogenic sediment Mycorrhiza, 2005, 16 (1): 1 ~ 9
- [2] Ruiz-Lozano J M, Azcon R. Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus* sp. from saline soils and *Glomus deserticola* under salinity. Mycorrhiza, 2000, 10: 137 ~ 143
- [3] Abbott L K, Roberson A D. Effectiveness of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in different soils. Environment Ecosystem, 1991, 3 (2): 21 ~ 25
- [4] Mankarios A T, Abdel-Fattah G M. Ecology of VA mycorrhiza in some Egyptian soils. Egypt J. Bot, 1994, 34: 135 ~ 152
- [5] Aliasgharzadeh N, Saleh R N, 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. Mycorrhiza, 2001, 11: 119 ~ 122
- [6] 刘润进,刘鹏起,徐坤,等. 中国盐碱土壤中 AM 真菌的生态分布. 应用生态学报, 1999, 10 (6): 721 ~ 724
- [7] 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. 土壤学报, 2004, 41 (3): 426 ~ 433
- [8] 蔡晓布,彭岳林,冯固,等. 西藏高原草地植物 AM 真菌多样性及其环境影响因子研究. 土壤学报, 2005, 42 (4): 641 ~ 650
- [9] 赵可夫,李法曾. 中国盐生植物. 北京:科学出版社, 1999
- [10] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, 1970, 55: 158 ~ 160
- [11] 弓明钦,陈应龙,仲崇祿. 菌根研究及应用. 北京:中国林业出版社, 1997
- [12] 鲍士旦,江荣凤,杨超光,等. 土壤农化分析. 北京:中国农业出版社, 2000
- [13] 胡小平,王长发. SAS 基础及统计实例教程. 西安:西安地图出版社, 2001
- [14] Pond E C, Menge J A. Improved growth of tomato in salinized soil by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi collected from saline soils. Mycologia, 1984, 76: 74 ~ 84
- [15] 唐明. VA 菌根提高植物抗盐碱和抗重金属能力的研究进展. 土壤, 1998, 30 (5): 251 ~ 254
- [16] Cooker J C, Butler R H, Madole G. Some observations on the vertical distribution of vesicular arbuscular mycorrhizae in roots of salt marsh grasses growing in saturated soils. Mycologia, 1993, 85: 547 ~ 550
- [17] Juniper S, Abbott L K. Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. Mycorrhiza, 2006, 16: 371 ~ 379
- [18] Kim C K, Weber D J. Distribution of VA mycorrhizae on halophytes on inland salt playas. Plant and Soil, 1985, 83: 207 ~ 214
- [19] Seme R E, Zentmyer G A, Bingham F T. The effect of osmotic potential and specific ions on growth of *Phytophthora cinnamomi*. Phytopathology, 1976, 66: 1 398 ~ 1 402
- [20] Brownell K H, Schneider R W. Roles of matric and osmotic components of water potential and their interaction with temperature in the growth of *Fusarium oxysporum* in synthetic media and soil. Phytopathology, 1985, 75: 53 ~ 57