

网络出版日期:2018-01-12
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20180112.0934.032.html>

盐渍化地区刺槐、新疆杨和怪柳林中 AM 真菌特性及其影响因子

张新璐¹, 唐 明¹, 陈雪冬², 齐 梅¹, 陶 晶¹, 盛 敏¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要 为研究生境异质性对 AM 真菌的影响, 以内蒙古磴口、宁夏平罗和甘肃敦煌盐渍化地区中刺槐、新疆杨和怪柳为对象, 分析不同树种林地土壤理化性质、土壤酶活性、根内 AM 真菌侵染状况及根际球囊霉素质量分数、AM 真菌的菌丝密度和孢子密度, 确定生境(如树种、土壤因子及气候条件)与 AM 真菌特性间的关系。方差分析结果表明, 树种和样区位置对 AM 真菌的总侵染率、菌丝侵染率、丛枝侵染率、孢子密度、菌丝密度、总球囊霉素质量分数、土壤理化性质和酶活性均具有显著影响; 变差分析结果表明土壤因子对 AM 真菌特性的影响最大, 且其影响与树种和气候条件有关; 相关分析进一步表明土壤因子及气候条件主要影响刺槐根际 AM 真菌的菌丝密度和孢子密度、怪柳根际的菌丝密度、新疆杨根内的丛枝侵染率、菌丝侵染率及其根际的孢子密度。以上结果表明, 盐渍化地区 AM 真菌特性具有生境异质性, 且其异质性主要由土壤因子的变化所致, 而树种和气候条件对 AM 真菌特性的影响均相对较小。

关键词 AM 真菌; 盐渍土; 土壤因子; 气候条件; 刺槐; 新疆杨; 怪柳

中图分类号 S718. 81 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2018)01-0114-10

丛枝菌根(Arbuscular Mycorrhizal, AM)真菌是重要的土壤生物成员之一, 其可通过扩大植物根系吸收面积、活化土壤养分、增加植物对矿质元素和水分的吸收以及激素调节等作用来提高植物的抗逆性^[1-3]。许多研究者认为生境异质性是影响微生物活性与功能的重要因素^[4]。对菌根真菌而言, 原始生境决定了其菌株特性, 菌株来源不同其共生特性和抗逆性也往往不同, 从而确定生境异质性的影响将为菌根技术的广泛应用提供保障^[5]。

土壤盐渍化是全球普遍存在的资源和生态问题, 严重制约着中国农林业的发展和生态环境建设。中国盐渍土总面积约 0. 991 亿 hm², 主要分布在中国西北、东北、华北、黄淮海平原以及沿海地区^[6]。已有研究表明, AM 真菌在盐渍土中分布广泛, 且其与植物共生能显著提高植物的抗盐性, 然而其抗盐性的高低与生境(植物种类、气温、降雨量、土壤理化及生物学性质)有关^[7-9]。为充分发挥 AM 真菌在盐渍土改良中的作用, 确

定盐渍化地区 AM 真菌特性的关键影响因素已成为当前首要解决的基本问题。

据统计, 中国西北地区盐渍土约占全国盐渍土总面积的 60% 左右, 是中国受盐渍化影响最严重的区域之一^[10]。在该地区, 经过长期的自然选择和人工培育, 一些树木已能进行生长, 如刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、新疆杨(*Populus alba* L. var. *pyramidalis* Bge.) 和怪柳(*Tamarix chinensis* L.) 等^[11]。它们不仅可以保持水土、防风固沙、造林绿化, 也被广泛用于盐渍土改良, 是盐渍化地区难得的绿化造林树种。目前研究发现, 刺槐、新疆杨和怪柳均能与 AM 真菌形成共生结构^[12-14], 然而关于这些树种的 AM 真菌在不同盐渍化地区是否存在生境异质性尚不明确。因此, 本试验选择位于中国西北部的 3 个盐渍化地区(内蒙古磴口、宁夏平罗和甘肃敦煌)中的刺槐、新疆杨和怪柳为研究对象, 分析不同树种根内 AM 真菌侵染状况及根际 AM 真菌的生长和繁殖水平, 探明 AM 真菌生长及共生特性与树种、

气候条件和土壤因子间的相互关系,为菌根技术在盐渍土改良中的高效利用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 样品采集

分别于内蒙古磴口、宁夏平罗和甘肃敦煌盐渍化地区的刺槐、新疆杨和桤柳林中设 5 个 20 m

×20 m 的小样方,每个小样方内随机选取 5 株植物,每株按东西南北 4 个方位,去除 5 cm 厚的表层土后,在 5~20 cm 土层范围内采集植物根系和根际土,然后分别将根系和根际土混合作为该样方的代表性样品。所选样区的地理位置和气候条件见表 1。

表 1 采样点概况

Table 1 Location, precipitation and average air temperature of sampling sites

采样地点 Sampling sites	经纬度 Latitude and longitude	降雨量/mm		Precipitation		平均气温/℃		Average air temperature	
		春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
磴口 Dengkou	106°98'E,40°33'N	23.1	89.1	28.9	2.3	10.3	23.3	8.6	-7.1
平罗 Pingluo	94°71'E,40°13'N	29.6	110.0	34.3	3.8	11.0	22.8	9.3	-5.5
敦煌 Dunhuang	106°54'E,38°91'N	17.2	50.3	16.6	4.3	9.5	21.2	7.4	-6.9

1.2 测定项目及方法

1.2.1 土壤理化性质和土壤酶活性 采用重铬酸钾硫酸氧化法(GB7871-87)测定有机质质量分数^[15];采用 AA3 连续流动分析仪测定硝态氮和铵态氮^[16];采用烘干称重法测定土壤含水量^[15];碳酸氢钠浸提—钼锑比色法(GB12297-90)测定速效磷^[15];1 mol/L 乙酸铵浸提—原子吸收法(GB7856-87)测定速效钾^[15];电位法(水土比 5:1)(GB7859-87)测定 pH^[15];质量法测定水溶性全盐(GB7871-87)^[15];原子吸收分光光度法测定 Na⁺、EDTA 滴定法测定 Ca²⁺、Mg²⁺(GB7871-87)^[15];硫酸钡比浊法测定 SO₄²⁻(GB7871-87)^[15];流动分析仪测定 Cl⁻(GB7871-87)^[15];中和滴定法测定 CO₃²⁻(GB7871-87)^[15]。

采用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性^[17];采用磷酸苯二钠比色法测定碱性磷酸酶活性^[17];采用苯酚钠—次氯酸钠比色法测定脲酶活性^[17];采用 3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法测定蔗糖酶活性^[17];采用三苯基四氮唑氯化物(TTC)比色法测定脱氢酶活性^[18]。

1.2.2 土壤中总球囊霉素和易提取球囊霉素质量分数 采用 Wright 等^[19]的方法测定土壤中易提取球囊霉素和总球囊霉素的质量分数。

1.2.3 AM 真菌侵染率 根系样品采用透明压片法制片,镜检丛枝、泡囊和菌丝等结构特征,采用十字交叉法测定丛枝、泡囊、菌丝及 AM 真菌总的侵染率^[20]。

1.2.4 AM 真菌孢子密度和菌丝密度 孢子密度测定方法:分别从各土壤样品中取 100 g 鲜土 2

份,一份在 105 ℃下烘干至恒质量,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 AM 真菌的孢子密度^[21]。

土壤含水量=(土壤湿质量—土壤干质量)/土壤湿质量×100%

孢子密度=孢子总数/[土壤湿质量×(1—土壤含水量)]

菌丝密度测定方法:采用抽滤法测定土壤中 AM 真菌的菌丝密度^[22]。

菌丝密度=11/14×总交叉点数×网格单元格长度×滤膜上样块面积/[网格面积×土样湿质量×(1—土壤含水量)]

1.3 统计分析

采用 R 语言的 Vegan 程序包对试验数据进行统计分析^[23]。

2 结果与分析

2.1 不同盐渍化地区刺槐、新疆杨及桤柳林的土壤理化性质

多元方差分析(MANOVA)结果表明,盐渍化地区林地土壤理化性质与树种有关(Pseudo-*F* = 5.53, *P* < 0.01)。主成分分析结果表明,PCA1 典型变量值在不同树种间差异显著(*F* = 23.7, *P* < 0.01)。其中,桤柳林土壤理化性质与刺槐和新疆杨林土壤理化性质显著不同(*P* < 0.01),而刺槐和新疆杨林土壤理化性质无显著性差异(图 1)。具体而言,桤柳林中速效钾、Cl⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 和水溶性全盐质量分数显著高于刺槐和新疆杨,桤柳林中硝态氮、铵态氮以及土

壤含水量显著低于刺槐和新疆杨,而土壤 pH、有机质、速效磷、 Na^+ 及 CO_3^{2-} 质量分数在不同树种间无显著性差异(表 2)。

此外,研究还发现盐渍化地区林地土壤理化性质与其所处地理位置有关($\text{Pseudo-}F=8.07, P<0.01$)。利用 $\text{vegdist}()$ 函数计算各盐渍化地区土壤理化性质间的相异性,并将其相异性与各盐渍化地区间的间隔距离进行相关分析。分析结果表明,不同盐渍化地区林地土壤理化性质的相异性与其间隔距离呈显著正相关($r=0.21, P<0.001$),即林地间隔越远,其土壤理化性质差异越大(图 2)。

2.2 不同盐渍化地区刺槐、新疆杨和柽柳林中土壤酶的活性

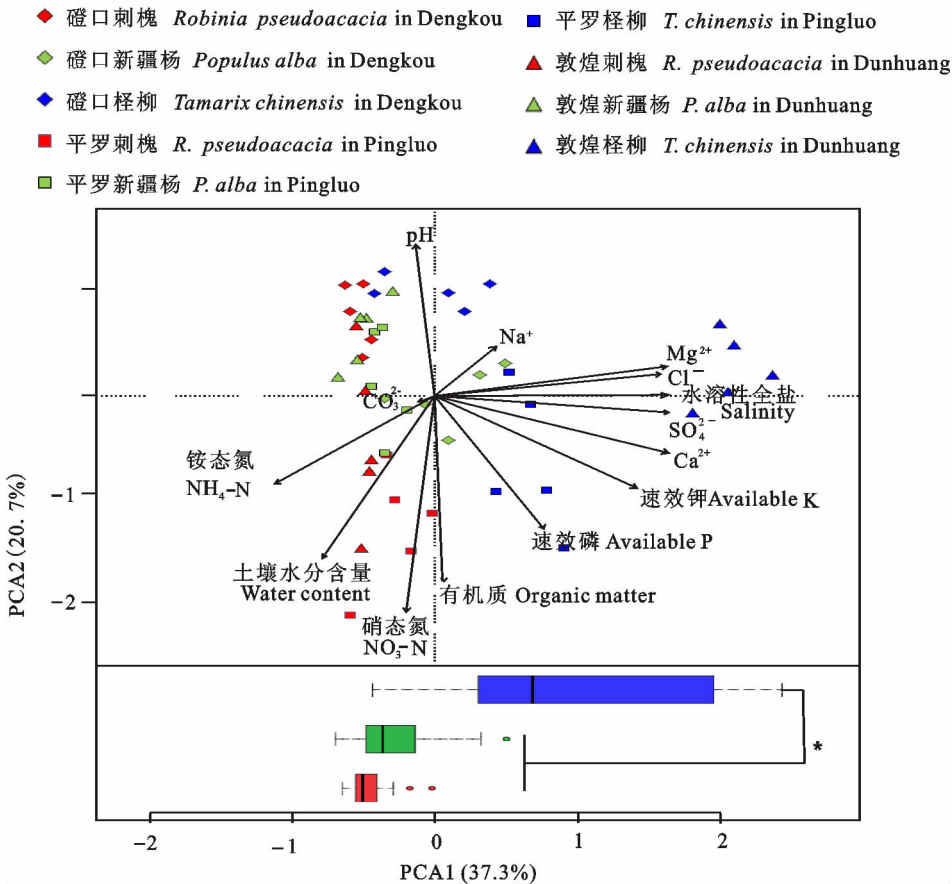
方差分析结果表明,土壤酶活性在不同树种间无显著差异,但同一树种在不同盐渍化地区间具有一定的差异(表 3)。其中,刺槐、新疆杨和柽

柳林中土壤过氧化氢酶活性以及柽柳林中土壤碱性磷酸酶和脱氢酶活性为磴口最低;柽柳林中土壤脲酶活性为平罗最低;新疆杨林中土壤蔗糖酶活性为平罗最高,磴口最低。

2.3 不同盐渍化地区刺槐、新疆杨和柽柳林中 AM 真菌的特性

研究发现,同一树种的 AM 真菌特性在不同盐渍化地区间表现出一定的差异(表 4)。具体而言,刺槐和新疆杨根际土中 AM 真菌的孢子密度为磴口最高;刺槐根际土中 AM 真菌的菌丝密度为敦煌最高,而柽柳根际土中 AM 真菌的菌丝密度则为平罗最高;新疆杨根系的菌丝侵染率为平罗最高,而其丛枝侵染率则为敦煌最高。

此外,方差分析结果表明,树种不同其根内 AM 真菌的总侵染率、菌丝侵染率、丛枝侵染率及其根际土中 AM 真菌的孢子密度、菌丝密度和总球囊霉素质量分数显著不同,而根际土中易提取



“*”表示在 0.05 水平下差异显著 “*” represents significant difference at 0.05 level

图 1 刺槐、新疆杨和柽柳林地土壤理化性质的主成分分析

Fig. 1 Principal component analysis (PCA) of soil physico-chemical properties in monocultures of *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba* and *Tamarix chinensis*

表 2 刺槐、新疆杨和怪柳林的土壤理化性质

Table 2 Soil physico-chemical properties under the monocultures of *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba* and *Tamarix chinensis*

树种 Tree species	地点 Sampling sites	有机质/ (g/kg) Organic matter	速效磷/ (mg/kg) Available P	速效钾/ (mg/kg) Available K	NO ₃ ⁻ -N/ (mg/kg)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg/kg)	Na ⁺ / (g/kg)	CO ₃ ²⁻ / (g/kg)	Cl ⁻ / (g/kg)	Ca ²⁺ / (g/kg)	Mg ²⁺ / (g/kg)	SO ₄ ²⁻ / (g/kg)	水溶性 全盐/% Salinity	含水量/% Water	pH
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	磴口 Dengkou	2.55 b	11.33 b	12.54 b	10.15 b	11.60 a	7.99 a	0.32 a	0.40 a	0.25 b	0.07 a	0.58 b	0.24 a	11.13 b	8.80 a
	平罗 Pingluo	20.92 a	16.57 a	22.14 a	58.24 a	11.40 a	4.29 a	0.37 a	0.29 a	0.50 a	0.12 a	0.93 a	0.22 a	19.55 a	8.22 b
	敦煌 Dunhuang	5.94 b	17.43 a	12.24 b	20.01 b	11.36 a	3.75 a	0.39 a	0.22 a	0.23 b	0.09 a	0.54 b	0.34 a	17.74 a	8.37 b
	P 值 P value	0.018	0.045	0.003	0.023	NS	NS	NS	NS	0.026	NS	0.013	NS	0.018	0.006
新疆杨 <i>Populus alba</i>	磴口 Dengkou	4.54 b	14.53 a	11.94 a	16.57 a	6.68 b	4.66 a	0.28 b	1.53 a	0.55 a	0.17 a	1.46 a	0.52 a	19.06 a	8.47 c
	平罗 Pingluo	10.53 a	15.63 a	12.32 a	17.35 a	8.84 b	11.21 a	0.63 a	0.35 a	0.45 a	0.06 b	0.94 b	0.25 b	16.34 a	9.10 a
	敦煌 Dunhuang	4.87 b	14.51 a	10.08 a	4.59 b	12.78 a	24.88 a	0.36 b	0.23 a	0.25 a	0.08 b	0.67 b	0.17 b	11.04 b	8.68 b
	P 值 P value	0.003	NS	NS	0.007	0.005	NS	<0.001	NS	NS	0.002	0.011	<0.001	0.005	<0.001
怪柳 <i>Tamarix chinensis</i>	磴口 Dengkou	1.40c	13.53 b	8.66 c	2.82 b	2.46c	2.10 a	0.24 a	1.22 b	0.27c	0.10 b	1.12 b	0.49 b	11.81 b	8.65 a
	平罗 Pingluo	17.31 a	19.73 a	16.92 b	16.67 a	6.27 a	13.06 a	0.46 a	1.19 b	0.88 b	0.15 b	2.14 a	0.93 a	15.44 a	8.57 a
	敦煌 Dunhuang	6.31 b	17.90 a	35.37 a	8.69 b	4.12 b	18.82 a	0.36 a	3.11 a	1.51 a	0.74 a	2.70 a	1.16 a	6.37c	8.63 a
	P 值 P value	<0.001	<0.001	<0.001	0.005	0.001	NS	NS	0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.012	<0.001	NS
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		9.81 a	15.11 a	15.64 a b	29.47 a	11.46 a	5.34 a	0.36 a	0.31 b	0.32 b	0.10 b	0.68 b	0.27 b	16.14 a	8.46 a
	新疆杨 <i>Populus alba</i>	6.65 a	14.89 a	11.45 b	12.84 b	9.43 b	13.58 a	0.42 a	0.70 b	0.42 b	0.11 b	1.03 b	0.31 b	15.48 a	8.75 a
	怪柳 <i>Tamarix chinensis</i>	8.34 a	17.05 a	20.32 a	9.39 b	4.28c	11.33 a	0.35 a	1.84 a	0.88 a	0.33 a	1.98 a	0.86 a	11.21 b	8.62 a
	P 值 P value	NS	NS	0.012	0.015	<0.001	NS	NS	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	0.013	NS

注:不同字母表示不同树种或同一树种在不同盐渍化地区间的差异显著($P<0.05$),NS表示没有差异,下同。
Note:Different letters indicate significant different between tree species or between saline areas under($P<0.05$),NS means no significant,the same below.

表 3 刺槐、新疆杨和怪柳林中土壤酶的活性

Table 3 Soil enzyme activities under the monocultures of *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba* and *Tamarix chinensis*

树种 Tree species	采样地点 Sampling sites	过氧化氢酶/[mg/(g·min)] Catalase	碱性磷酸酶/[mg/(g·h)] Alkaline phosphatase	脲酶/[mg/(g·h)] Urease	蔗糖酶/[mg/(g·h)] Sucrase
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	磴口 Dengkou	6.09 b	0.09 a	0.02 a	0.09 a
	平罗 Pingluo	7.75 a	0.12 a	0.02 a	0.10 a
	敦煌 Dunhuang	8.15 a	0.09 a	0.02 a	0.10 a
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.001	NS	NS	NS
新疆杨 <i>Populus alba</i>	磴口 Dengkou	6.26 b	0.10 a	0.01 a	0.08 c
	平罗 Pingluo	8.37 a	0.10 a	0.03 a	0.11 a
	敦煌 Dunhuang	8.37 a	0.09 a	0.03 a	0.09 b
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<0.001	NS	NS	<0.001
怪柳 <i>Tamarix chinensis</i>	磴口 Dengkou	4.79 b	0.08 b	0.02 a	0.08 a
	平罗 Pingluo	7.77 a	0.10 a	0.01 b	0.11 a
	敦煌 Dunhuang	7.90 a	0.10 a	0.02 a	0.08 a
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<0.001	0.042	0.008	NS
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		7.33 a	0.10 a	0.062 a	0.019 a
	新疆杨 <i>Populus alba</i>	7.66 a	0.10 a	0.046 a	0.025 a
	怪柳 <i>Tamarix chinensis</i>	6.82 a	0.091 a	0.047 a	0.017 a
<i>P</i> 值 <i>P</i> value		NS	NS	NS	NS

表 4 刺槐、新疆杨和怪柳根系的菌根侵染率及其根际土中 AM 真菌的孢子密度、菌丝密度、易提取球囊霉素和总球囊霉素的质量分数

Table 4 Arbuscular mycorrhizal fungal colonization rate, spore density, hyphal density and mass fraction of easily extractable glomalin and total glomalin under the monocultures of *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba* and *Tamarix chinensis*

树种 Tree species	采样地点 Sampling sites	孢子密度/ (个/g) Spore density	菌丝密度/(m/g) Hyphal density	总侵染率/% Total colonization rate	菌丝侵染率/% Hyphal colonization rate	丛枝侵染率/% Arbuscular colonization rate	泡囊侵染率/% Vesicular colonization rate	易提取球囊霉素/(g/kg) Easily extractable glomalin	总球囊霉素/(g/kg) Total glomalin
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	磴口 Dengkou	41.61 a	10.33 b	94.34 a	54.80 a	8.82 a	8.16 a	0.39 a	1.56 a
	平罗 Pingluo	15.97 b	6.46 b	85.78 a	57.09 a	7.99 a	7.99 a	0.37 a	1.85 a
	敦煌 Dunhuang	16.36 b	15.93 a	90.00 a	52.85 a	5.90 a	5.90 a	0.47 a	1.82 a
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.002	0.009	NS	NS	NS	NS	NS	NS
新疆杨 <i>Populus alba</i>	磴口 Dengkou	20.08 a	9.30 a	85.24 a	58.45 b	1.05 b	8.05 a	0.32 a	1.42 a
	平罗 Pingluo	6.70 b	15.60 a	90.54 a	78.78 a	3.27 b	3.27 a	0.40 a	1.47 a
	敦煌 Dunhuang	10.21 b	8.92 a	88.39 a	64.05 b	6.85 a	4.31 a	0.43 a	1.51 a
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.001	NS	NS	0.003	0.009	NS	NS	NS
怪柳 <i>Tamarix chinensis</i>	磴口 Dengkou	5.55 a	4.27 b	45.78 a	23.86 a	3.57 a	2.57 a	0.37 a	1.50 a
	平罗 Pingluo	5.27 a	9.94 a	68.51 a	34.90 a	7.36 a	6.45 a	0.30 a	1.10 a
	敦煌 Dunhuang	5.15 a	4.25 b	47.31 a	35.87 a	2.27 a	2.73 a	0.42 a	1.09 a
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	NS	0.022	NS	NS	NS	NS	NS	NS
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		24.64 a	10.91 a	90.04 a	54.91 b	7.57 a	7.35 a	0.41 a	1.74 a
	新疆杨 <i>Populus alba</i>	12.33 b	11.27 a	88.06 a	67.10 a	3.72 b	5.21 a	0.38 a	1.47 b
	怪柳 <i>Tamarix chinensis</i>	5.32 b	6.16 b	53.87 b	31.54 c	4.40 b	3.91 a	0.37 a	1.23 c
<i>P</i> 值 <i>P</i> value		<0.001	0.018	<0.001	<0.001	0.022	NS	NS	<0.001

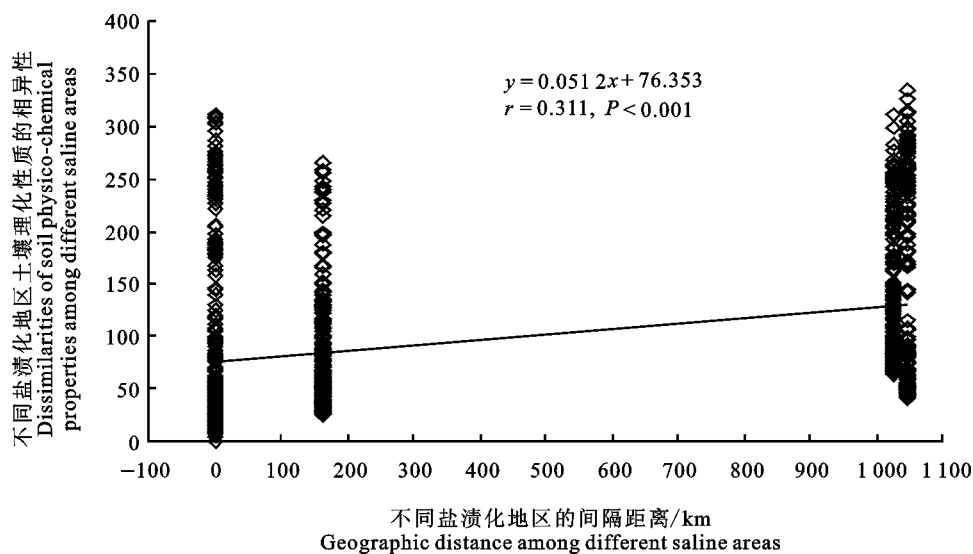


图 2 不同盐渍化地区土壤理化性质的相异性与其间隔距离间的相互关系

Fig. 2 Correlation between dissimilarities of soil physico-chemical properties and geographic distances among different saline areas

球囊霉素质量分数及根内泡囊侵染率在不同树种间无显著性差异(表 4)。其中,刺槐根际土中 AM 真菌的孢子密度和总球囊霉素质量分数及根内 AM 真菌的总侵染率和丛枝侵染率最高,新疆杨根际土中 AM 真菌的菌丝密度及根内菌丝侵染率最高,而怪柳林中 AM 真菌的各项指标均相对较低。

2.4 土壤性质、树种和气候条件对 AM 真菌特性的影响

选择生境指标(土壤因子、树种及气候条件)为解释变量,利用 varpart() 变差分析函数比较土壤因子、树种及气候条件对 AM 真菌特性的贡献程度。变差分析结果表明土壤因子、树种及气候条件共解释了 61.8% 的变差,其中土壤因子单独解释或与树种或与气候条件一起共解释了 53.9% 的变差,说明土壤因子对 AM 真菌特性的影响最大,且其影响与树种和气候条件密切相关(图 3)。

2.5 刺槐、新疆杨和怪柳林中 AM 真菌特性与土壤因子和气候条件的关系

在特定树种下,选取与生境有关的气温、降雨量、AM 真菌及土壤指标进行相关分析,确定盐渍化地区不同树种 AM 真菌特性的影响因子。分析结果表明,在刺槐林中,AM 真菌的菌丝密度主要与土壤中 Ca^{2+} 质量分数、春夏秋冬的气温以及夏秋季的降雨量有关,而 AM 真菌的孢子密度主要与夏季气温、冬季降雨量、土壤 pH、过氧化氢酶活性以及速效磷和土壤含水量有关(图 4-A)。

在新疆杨林中,其根系的丛枝侵染率与夏秋季气温、夏秋冬季降雨量、过氧化氢酶活性以及硝态氮、铵态氮、 SO_4^{2-} 、水溶性全盐和土壤含水量有关,菌丝侵染率与春季降雨量、春冬季气温、土壤 pH、蔗糖酶活性以及 CO_3^{2-} 和有机质质量分数有关,而 AM 真菌的孢子密度主要与冬季降雨量、冬季气温、土壤 pH、过氧化氢酶和蔗糖酶活性以及 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 和 Mg^{2+} 质量分数有关(图 4-B)。在怪柳林中,仅土壤中 AM 真菌的菌丝密度在不同盐渍化地区间发生了变化,且其变化主要与春夏季降雨量、春秋冬季气温和土壤中有机质质量分数有关(图 4-C)。

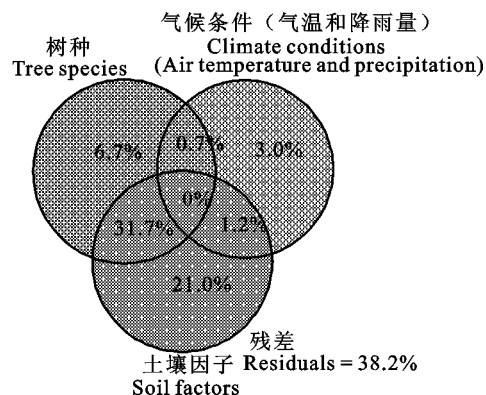


图 3 土壤因子、树种和气候条件对 AM 真菌特性影响的变差分析
Fig. 3 Variation partitioning of arbuscular mycorrhizal fungal attributes by soil factors, tree species and climate conditions

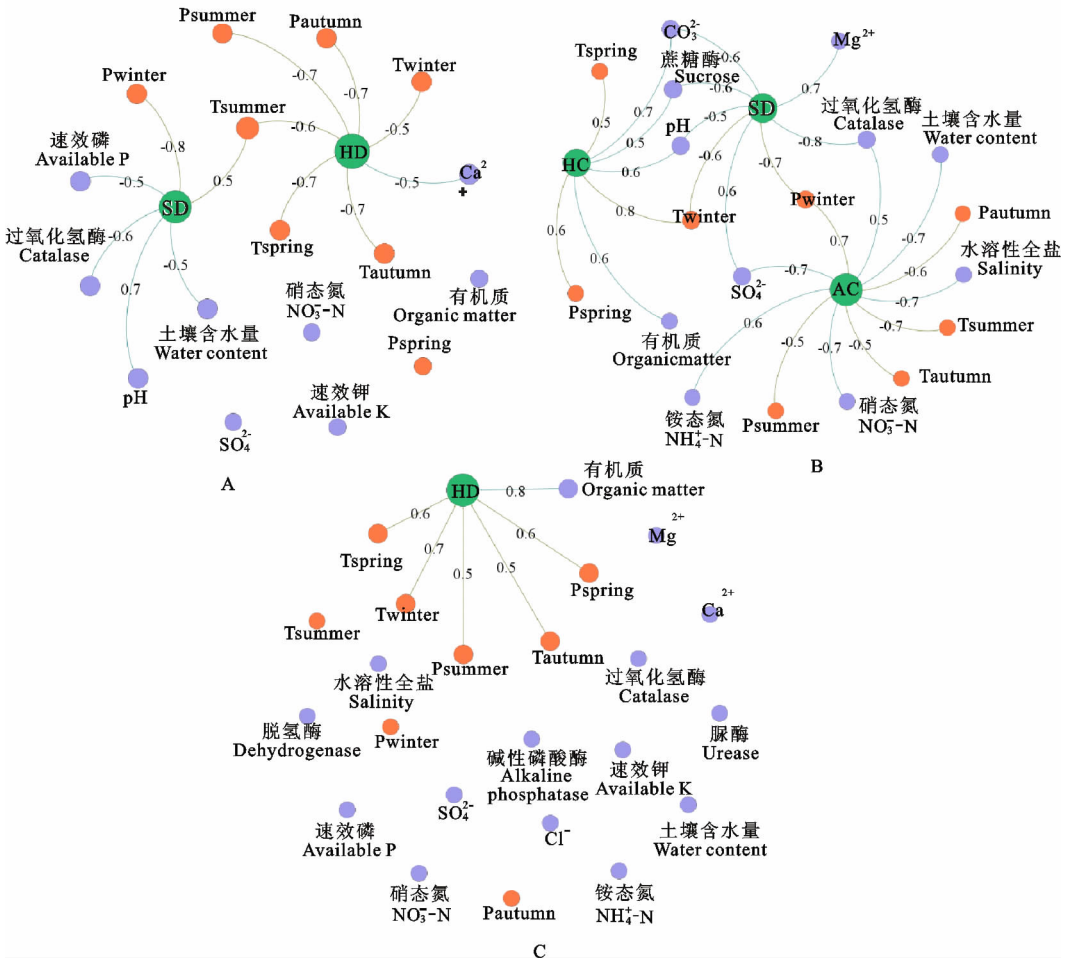


图 4 刺槐(A)、新疆杨(B)和怪柳(C)林中 AM 真菌特性与土壤因子和气候条件的关系网络图

Fig. 4 Networks of correlations among AM fungi, soil factors and climate conditions of *Robinia pseudoacacia* (A), *Populus abla* (B) and *Tamarix chinensis* (C)

3 讨 论

微生物趋于生境选择,其生物活性、功能及其差异是反映生境异质性的重要指标^[24]。从整体看,中国西北地区盐渍土中刺槐、新疆杨和怪柳根内 AM 真菌的侵染力及根际土中 AM 真菌的生长与繁殖能力均具有一定的生境异质性。选择与生境有关的土壤因子、树种及气候条件进行变差分析发现,AM 真菌特性的大部分变差由土壤因子单独解释或与树种或与气候条件一起共同解释,说明土壤因子对 AM 真菌特性的影响最大,且其影响与树种和气候条件密切相关。该结论与

一些研究者在其他一些自然生态系统中所获得的结果基本相似^[25-26]。

宿主植物是影响 AM 真菌特性的重要因素之一。大量研究结果表明,AM 真菌的侵染和繁殖能力与宿主种类密切相关^[27-28]。本研究也发现,盐渍土中树种不同,其根内 AM 真菌的侵染率及根际土中 AM 真菌的菌丝生长和产孢能力也不同。这些研究结果表明宿主植物与 AM 真菌之间存在一定的相互选择性,即树种不同其对 AM 真菌的响应程度亦不同^[29]。至于其响应机制,Johnson 等^[30]认为不同种类的宿主植物可以通过改变根系环境对 AM 真菌进行选择,而其他

一些研究则认为宿主植物是通过调节根系分泌物来影响 AM 真菌在根际中的生长速率,从而达到调控 AM 真菌的目的^[31]。本研究发现,盐渍化地区林地土壤理化性质与树种有关,尤其是硝态氮、铵态氮、速效钾、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、水溶性全盐以及土壤含水量在不同树种间差异显著。相关分析进一步表明,这些与树种有关的土壤因子几乎全部与根内 AM 真菌侵染状况或与根际 AM 真菌的菌丝生长和产孢量有关。这一结果表明盐渍化地区宿主植物可能主要通过改变土壤理化性质来间接影响 AM 真菌的侵染与繁殖能力。

Carvalho 等^[8]研究认为气温和降雨量的变化可以直接影响盐渍土中 AM 真菌的侵染率和孢子密度。一般来讲,降雨可通过改变土壤湿度、调节植物蒸腾速率对 AM 真菌进行影响;而气温一方面可直接影响 AM 真菌的生长速度,也可通过调节植物生长而对 AM 真菌进行间接影响^[32]。本研究结果表明,盐渍化地区刺槐、新疆杨和桤柳根系 AM 真菌的侵染状况以及根际 AM 真菌的菌丝生长和产孢量均与气温和降雨量有关,且树种不同其 AM 真菌特性与气温和降雨量间的相互关系也有所不同。例如刺槐根际 AM 真菌的菌丝密度与春夏秋冬季气温和夏秋季降雨量呈显著负相关,而桤柳根际 AM 真菌的菌丝密度与春夏秋冬季气温和春夏季降雨量呈显著正相关。Kabir 等^[33]在农田生态系统中也发现 AM 真菌的菌丝密度与气候条件有关。综上,盐渍化地区 AM 真菌特性具有生境异质性,且其异质性主要由土壤因子、树种及气候条件等生境因子的变化所致,然而关于这些生境因子对 AM 真菌的影响机制尚不完全清楚,需待进一步深入的研究。

参考文献 Reference:

- [1] POZO M J, JUNG S C, MARTÍNEZ-MEDINA A, *et al.* Root allies: Arbuscular Mycorrhizal Fungi Help Plants to Cope with Biotic Stresses // Symbiotic Endophytes [M]. Heidelberg Berlin: Springer, 2013: 289-307.
- [2] 许平辉, 王飞权, 齐玉岗, 等. 丛枝菌根真菌对茶树抗旱性的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(7): 1033-1040.
XU P H, WANG F Q, QI Y G, *et al.* Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on drought resistance in tea plant (*Camellia sinensis*) [J]. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 2017, 26(7): 1033-1040.
- [3] LIU H G, WANG Y J, HART M, *et al.* Arbuscular mycorrhizal symbiosis regulates hormone and osmotic equilibrium of *Lycium barbarum* L. under salt stress[J]. *Mycosphere*, 2016, 7(6): 828-843.
- [4] FIERER N, JACKSON R B. The diversity and biogeography of soil bacterial communities[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2006, 103(3): 626-631.
- [5] ESTRADA B, BAREA J M, AROCA R, *et al.* A native *Glomus intraradices* strain from a Mediterranean saline area exhibits salt tolerance and enhanced symbiotic efficiency with maize plants under salt stress conditions[J]. *Plant and Soil*, 2013, 366(1-2): 333-349.
- [6] 张建锋. 盐碱地的生态修复研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 74-78.
ZHANG J F. Discussion on ecological rehabilitation of salt-affected soils[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(4): 74-78.
- [7] 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.
LIU R J, LIU P Q, XU K, *et al.* Ecological distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in saline-alkaline soils of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(6): 721-724.
- [8] CARVALHO L M, CACADOR I, MARTINS-LOUCÃO M A. Temporal and spatial variation of arbuscular mycorrhizas in salt marsh plants of the Tagus estuary (Portugal) [J]. *Mycorrhiza*, 2001, 11(6): 303-309.
- [9] GUO X H, GONG J. Differential effects of abiotic factors and host plant traits on diversity and community composition of root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungi in a salt-stressed ecosystem [J]. *Mycorrhiza*, 2014, 24(2): 79-94.
- [10] 汪 林, 甘 泓, 于福亮, 等. 西北地区盐渍土及其开发利用中存在的问题的对策[J]. 水利学报, 2001(6): 90-95.
WANG L, GAN H, YU F L, *et al.* Salted soil and its development in northwest China [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2001(6): 90-95.
- [11] 林士杰, 张忠辉, 张大伟, 等. 盐碱地树种选择及抗盐碱造林技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(10): 1-5.
LIN SH J, ZHANG ZH H, ZHANG D W, *et al.* Research progress on the trees species choice in saline-alkali land and drought resistant forestation technology [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(10): 1-5.
- [12] SHENG M, CHEN X D, ZHANG X L, *et al.* Changes in arbuscular mycorrhizal fungal attributes along a chronosequence of black locust (*Robinia pseudoacacia*) plantations can be attributed to the plantation-induced variation in soil properties [J]. *Science of the Total Environment*, 2017 (599): 273-283.
- [13] 梁倩倩, 李 敏, 刘润进, 等. 全球变化下菌根真菌的作用及其作用机制[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6039-6048.
LIANG Q Q, LI M, LIU R J, *et al.* Function and functioning mechanisms of mycorrhizal fungi under global changes [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(21): 6039-6048.

- [14] 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.
SHENG M,TANG M,DILNUR,*et al.* Study on arbuscular mycorrhizae of common halophytes from northwest sali-alkali soil[J]. *Journal of Northwest A& F University (Natural Science Edition)*, 2007,35(2):74-78.
- [15] 鲍士旦,江荣风,杨超光,等. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
BAO SH D,JIANG R F,YANG CH G,*et al.* Analysis of Soil Characteristics[M]. Beijing:China Agriculture Press, 2000.
- [16] 陈云增,陈志凡,马建华,等. 沙颍河流域典型癌症高发区土壤硝态氮对地下水和蔬菜硝酸盐积累的影响[J]. 环境科学学报, 2016,36(3):990-998.
CHEN Y Z,CHEN ZH F,MA J H,*et al.* Effects of soil nitrate nitrogen on the nitrate accumulation in groundwater and vegetables in a typical high cancer incidence area of Shaying River basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016,36(3):990-998.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
GUAN S Y. Soil Enzymes and Its Method log[M]. Beijing:Agricultural Press,1986.
- [18] CHANDER K,BROOKES P C. Is the dehydrogenase assay invalid as a method to estimate microbial activity in copper-contaminated soils? [J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1991,23(10):909-915.
- [19] WRIGHT S F,UPADHYAYA A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi[J]. *Soil Science*, 1996,161(9):575-586.
- [20] 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(1):158-168.
- [21] 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.
GONG M Q,CHEN Y L,ZHONG CH L. Mycorrhizal Research and Application[M]. Beijing:China Forestry Publishing House,1997.
- [22] 何跃军,钟章成,董 鸣. AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递[J]. 生态学报, 2012,32(8): 2525-2531.
HE Y J,ZHONG ZH CH,DONG M. Nutrients transfer for host plant and litter decompositon by AMF in Karst soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012,32(8):2525-2531.
- [23] OKSANEN J,BLANCHET G F,KINDT R,*et al.* Vegan; community ecology package. R package version 2. 0-10[J/OL]. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>. [2013-06-02].
- [24] ODLAND A,DEL MORAL R. Thirteen years of wetland vegetation succession following a permanent drawdown, Myrkdalen Lake, Norway [J]. *Plant Ecology*, 2002, 162(2):185-198.
- [25] XU T L,VERESOGLOU S D,CHEN Y L,*et al.* Plant community, geographic distance and abiotic factors play different roles in predicting AMF biogeography at the regional scale in northern China[J]. *Environmental Microbiology Reports*, 2016,8(6):1048-1057.
- [26] XU X H,CHEN C,ZHANG ZH,*et al.* The influence of environmental factors on communities of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Chenopodium ambrosioides* revealed by MiSeq sequencing investigation[J]. *Scientific Reports*, 2017,7(7):45134.
- [27] DHAR P P,MRIDHA M A U. Arbuscular mycorrhizal associations in different forest tree species of Hazarikhil forest of Chittagong, Bangladesh[J]. *Journal of Forestry Research*, 2012,23(1):115-122.
- [28] 张海波,梁月明,冯书珍,等. 土壤类型和树种对根际土丛枝菌根真菌群落及其根系侵染率的影响[J]. 农业现代化研究, 2016,37(1):187-194.
ZHANG H B,LIANG Y M,FENG SH ZH,*et al.* The effects of soil types and plant species on arbuscular mycorrhizal fungi community and colonization in the rhizosphere [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2016, 37(1):187-194.
- [29] LIU H G,WANG Y J,TANG M. Arbuscular mycorrhizal fungi diversity associated with two halophytes *Lycium barbarum* L. and *Elaeagnus angustifolia* L. in Ningxia, China[J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2017, 63(6):796-806.
- [30] JOHNSON N C,GRAHAM J H,SMITH F A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum[J]. *New phytologist*, 1997,135(4):575-585.
- [31] PHILIPPOT L,RAAIJMAKERS J M,LEMANCEAU P,*et al.* Going back to the roots:the microbial ecology of the rhizosphere [J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2013, 11(11):789-799.
- [32] 孙向伟,王晓娟,陈 牧,等. 生态环境因子对 AM 真菌孢子形成与分布的作用机制[J]. 草业学报, 2011,20(1): 214-221.
SUN X W,WANG X J,CHEN M,*et al.* Effects of eco-environmental factors on the production and distribution of arbuscular mycorrhizal fungal spores[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011,20(1):214-221.
- [33] KABIR Z, O'HALLORAN I P, FYLES J W,*et al.* Seasonal changes of arbuscular mycorrhizal fungi as affected by tillage practices and fertilization: hyphal density and mycorrhizal root colonization[J]. *Plant and Soil*, 1997, 192(2):285-293.

Arbuscular Mycorrhizal Fungal Attributes under Monocultures of *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba* and *Tamarix chinensis* in Saline Areas

ZHANG Xinlu¹, TANG Ming¹, CHEN Xuedong², QI Mei¹,
TAO Jing¹ and SHENG Min¹

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract In order to study the influence of environmental changes on AM (arbuscular mycorrhizal) fungal attributes, we sampled the root and soil samples from monocultures of *Robinia pseudoacacia*, *Populus alba* and *Tamarix chinensis* in saline areas located in Dengkou county of Inner Mongolia Autonomous Region, Pingluo county of Ningxia Hui Autonomous Region and Dunhuang county of Gansu province, measured soil physico-chemical properties, soil enzyme activities, easily extractable glomalin and total glomalin mass fraction, AM fungal colonization rate, spore density and hyphal density, and determined the relationships among AM fungal attributes, tree species, soil factors and climate conditions. Analysis of variance revealed that both of tree species and sampling sites significantly affected the total AM fungal colonization rate, hyphal colonization rate, arbuscular colonization rate, spore density, hyphal density, total glomalin mass fraction, soil physico-chemical properties and enzyme activities. Variation partitioning showed that soil factors played the highest role in affecting AM fungi compared to tree species and climate conditions. Correlation analysis found out that soil factors and climate conditions were mainly correlated with AM fungal spore density and hyphal density in *R. pseudoacacia* rhizosphere, hyphal density in *T. chinensis* rhizosphere, the colonization rate of arbuscules and hyphae in *P. alba* roots, and spore density in *P. alba* rhizosphere. All the above results indicated that AM fungal attributes had dissimilarities among different saline areas, and those dissimilarities have been mainly attributed to the changes in soil factors since tree species and climate conditions had less influence on AM fungi than soil factors.

Key words AM fungi; Saline soil; Soil factor; Climate conditions; *Robinia pseudoacacia*; *Populus alba*; *Tamarix chinensis*

Received 2017-07-10 **Returned** 2017-09-15

Foundation item The National Natural Science Foundation of China (No. 31400524); National Natural Science Foundation of Shaanxi Province (No. 2015JQ3063); Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. 2014YB075).

First author ZHANG Xinlu, female, doctoral student. Research area: forest microbiology. E-mail: zhangxl9262@163.com

Corresponding author SHENG Min, female, associate professor, master supervisor. Research area: forest microbiology. E-mail: shengmin@nwsuaf.edu.cn

(责任编辑:成敏 Responsible editor: CHENG Min)