

树莓根际 AM 真菌分布和定殖

王少峰¹, 贺学礼^{1,2}, 陈铁山¹, 王 娟²

(1. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 河北大学生命科学学院, 河北 保定 071002)

摘 要: 2004 年 7~12 月在关中盆地西部, 每月分别从 0~10、10~20、20~30 和 30~40 cm 4 个土层采集树莓根际土样, 系统研究树莓根际 AM 真菌时空分布和土壤因子之间的相关性。结果表明, 树莓能与 AM 真菌形成良好的共生关系。AM 真菌的最高定殖率并不伴随有最大孢子密度, 最高定殖率发生在 9 月, 达 86%, 而最大孢子密度出现在 11 月, 平均密度为 14 个/g 土。土壤碱解氮与孢子密度呈极显著负相关, 土壤有机质与孢子密度呈显著负相关, 土壤 pH 与菌丝定殖率呈显著负相关, 与泡囊定殖率呈极显著负相关。在检测和评估土壤生态状况和植物形成菌根的能力等方面, 宿主植物根际 AM 真菌的孢子密度和 AM 真菌不同结构的定殖程度是十分有用的指标。

关键词: AM 真菌; 时空分布; 土壤因子; 树莓

中图分类号: Q949.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)03-0219-06

菌根(Mycorrhiza)是土壤真菌与高等植物营养根系形成的一种共生体, 丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, 简称 AM)是最典型的内生菌根。研究表明, AM 真菌与植物共生后, 能够促进宿主对土壤矿质元素的吸收, 调节宿主体内的代谢活动, 增强植物抗逆性, 促进植物生长, 提高作物产量, 改善作物品质^[1], 此外还对控制水土流失, 抑制沙尘暴具有直接有益的作用^[2~3]。尤其是 AM 真菌在植物根际形成的庞大菌丝网络系统, 对于稳定土壤结构, 保持植物根际土壤生态系统的良性发展有重要意义。

树莓是蔷薇科悬钩子属(*Rubus* L)植物, 丛生, 株丛地下部分为多年生, 无主根, 根系分布较浅, 一般主要分布在 10~50 cm 的土层内, 交织成网状。因其果实富含多种维生素和矿质元素, 尤其富含 SOD、鞣酸等抗癌、抗衰老物质而备受人们喜爱, 被誉为“第三代新兴水果”^[4~5], 是理想的天然保健食品。此外, 树莓的果实、茎、根、叶皆可入药, 具有很高的药用价值。调查和研究自然条件下树莓根际 AM 真菌时空分布和定殖规律以及与土壤因子的相关性, 对于进一步阐明 AM 真菌与树莓的共生机理及对土壤微生态环境的检测具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

武功县位于陕西关中盆地西部, 东经 108°20', 北纬 34°2', 地形以平原为主, 北高南低, 海拔 420

m, 土壤为黄垆土, 属于暖温带季风区半湿润气候, 年平均气温 12.9℃, 年平均降水量 635 mm, 无霜期 228 d。

1.2 样品采集

样地位于武功县苏坊镇姚庄, 2004 年 7~12 月, 每月 9 日在样地内随机选取树莓(威廉姆特)4 株, 去掉表层土壤, 在距植株 0~10 cm 处挖土壤剖面, 按 0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm, 30~40 cm 等 4 个土层采集根样和土样。在每层中部取样后立即混合, 用 4 分法取得大约 1 kg 鲜土样, 编号装袋密封, 在实验室中过 1 mm 筛后测定土壤理化性质和真菌孢子密度。根样用于测定 AM 真菌定殖率。

1.3 实验方法

土壤碱解氮用碱解扩散法, 土壤速效磷用 0.5 mol/L NaHCO₃ 钼锑抗比色法, 土壤有机质用重铬酸钾氧化法^[6], pH 用 pH 计测定^[7]。AM 真菌定殖率按 Philips 和 Hayman 方法测定^[8]。根样用清水冲洗两次后, 置于质量分数为 10% KOH 溶液中, 90℃下漂洗 20 min 后用体积分数为 0.05% 酸性品红乳酸溶液在 90℃下染色 20 min。随机选取 50 根 1 cm 长的根段, 镜检。计算 AM 真菌不同结构(丛枝、泡囊、菌丝)定殖率及总定殖率。

$$\text{定殖率}(\%) = (\text{AM 真菌感染根段数} / \text{检查总根段数}) \times 100\%$$

AM 真菌孢子密度测定: 从每份土样中取 25 g 风干土壤, 用湿筛倾析-蔗糖离心法分离 AM 真菌

收稿日期: 2005-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40471637), 教育部留学回国人员科研启动项目(教外司留[2003]14 号)

作者简介: 王少峰(1979-), 女, 山西长治人, 在读硕士。主要从事环境生物学和土壤生态学研究。

通讯作者: 贺学礼, E-mail: xuelh1256@yahoo.com.cn。

孢子^[9],体视显微镜下记录孢子的数量,统计孢子总数。并计算每 100 g 干土中的含孢量(孢子密度)。

采用 SPSS12.0 统计软件对实验结果进行分

析。

2 实验结果

2.1 土壤因子和 AM 真菌及孢子密度的时间分布

表 1 不同时间土壤因子和树莓根际 AM 真菌定殖率及孢子密度的方差分析
Table 1 Means compare analysis of AM fungi colonization rate and soil factors from

the rhizosphere of Raspberry in different times										
土层 (cm) Soil layer	月份 Month	碱解 N Alkali solution N (mg/kg)	速效 P Available P (mg/kg)	有机质 Organic matter (mg/kg)	pH	孢子密度 Spore density (个/100g 土)	菌丝 Hypha (%)	泡囊 Vesicule (%)	丛枝 Arbuscule (%)	总定殖率 Total (%)
0~10	7	63 _{ab}	24.84 _a	1.79 _b	8.25 _a	156 _c	76.83 _a	42.03 _a	0 _a	80.75 _a
	8	68 _{ab}	23.87 _a	3.97 _a	8.34 _a	101 _c	62.58 _{ab}	42.5 _a	0 _a	69.53 _{ab}
	9	58 _b	14.06 _a	2.71 _{ab}	8.08 _{bc}	718 _b	80.95 _a	50.95 _a	0 _a	86.7 _a
	10	96 _a	11.68 _a	2.13 _b	8.15 _b	1132 _{ab}	34.63 _b	29.43 _a	0 _a	44.0 _b
	11	10 _c	13.1 _a	2.1 _{ab}	8.1 _c	1390 _a	54.5 _a	17.3 _a	0 _a	70.6 _a
	12	47 _{bc}	11.87 _a	2.29 _{ab}	8.0 _c	166.67 _c	70.55 _a	47.53 _a	19.18 _b	73.88 _a
10~20	7	44 _a	25.47 _a	1.8 _b	8.38 _a	169.33 _c	52.85 _a	15.2 _b	1.25 _{ab}	59.1 _a
	8	58 _a	22.43 _{ab}	3.45 _a	8.21 _{ab}	298 _{bc}	64.65 _a	41.3 _{ab}	0 _b	70.83 _a
	9	51 _a	15.63 _{ab}	2.26 _b	8.08 _{bc}	1028 _{abc}	54.53 _a	21.53 _{ab}	0 _b	54.53 _a
	10	56 _a	10.89 _{ab}	1.96 _b	8.19 _b	1175 _{ab}	47.85 _a	33.63 _{ab}	0 _b	55.45 _a
	11	12 _b	15.8 _{ab}	2.2 _b	8.1 _{bc}	1233 _a	34.9 _a	22.5 _{ab}	0 _b	46.25 _a
	12	44 _a	12.26 _b	2.11 _b	7.98 _c	185.33 _{bc}	47.23 _a	37.95 _a	2.5 _a	49.8 _a
20~30	7	61 _a	12.96 _a	1.67 _b	8.41 _a	280 _c	22.13 _b	13.43 _a	0.55 _{ab}	22.13 _b
	8	74 _a	21.97 _a	3.03 _a	8.07 _b	187 _c	45.3 _{ab}	39.25 _a	0 _b	53.98 _{ab}
	9	46 _b	11.76 _a	2.09 _b	8.12 _b	826 _{bc}	47.23 _{ab}	25.33 _a	0 _b	47.23 _{ab}
	10	65 _a	11.67 _a	1.78 _{ab}	8.2 _{ab}	1225 _b	33.95 _{ab}	29.9 _a	0 _b	41.35 _{ab}
	11	13 _c	16.6 _a	2.3 _b	8.1 _b	1455 _a	31.1 _{ab}	12.4 _a	0.6 _{ab}	47.28 _{ab}
	12	44 _b	10.82 _a	2.04 _b	7.95 _b	272 _c	47.85 _a	29.68 _a	1.95 _a	49.68 _a
30~40	7	51 _a	33.46 _a	1.89 _b	8.08 _a	200 _c	9.63 _a	7.6 _a	0 _b	12.8 _b
	8	61 _a	17.55 _a	5.19 _a	8.23 _a	320 _c	34.35 _a	30.18 _a	0 _b	42.0 _{ab}
	9	63 _a	9.9 _a	2.01 _b	8.09 _a	991 _{bc}	39.75 _a	15.48 _a	0 _b	45.05 _{ab}
	10	86 _a	12.29 _a	1.68 _b	8.22 _a	1321 _{ab}	42.7 _a	22.18 _a	0 _b	47.5 _{ab}
	11	12 _b	22.2 _a	2.2 _b	8.09 _a	1442 _a	24.7 _a	12.1 _a	0 _b	46.73 _{ab}
	12	56 _a	15.2 _a	2.24 _b	7.93 _a	324 _c	36.25 _a	16.03 _a	2.55 _a	43.1 _a

注:同一列数据中不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著;下同。
Note:Date with different letters in the same column indicate statistically significant differents at $P<0.05$; the same below.

由表 1 可知,4 个土层的土壤碱解氮随时间变化呈升—降—升—降—升趋势,在 2004 年 10 月有最大值,到 11 月急剧降到最小。土壤速效磷随时间变化呈缓慢下降趋势,均从 7 月的最大值缓慢降到 10 月达到最低值。土壤有机质随时间推移呈先急剧增加,在 8 月达到峰值,然后缓慢降低,到 12 月 4 个土层土壤有机质基本趋于一致。土壤 pH 随时间变化有差异,0~10 cm 和 30~40 cm 土层随时间变化先升后降,在 8 月有最大值;10~20 cm 和 20~30 cm 土层 pH 随时间波动较大,从 7 月最大值先降后升又缓慢下降。

孢子密度随时间变化呈升—降—升趋势,在 11 月有一个峰值,然后急剧下降。4 个土层的菌丝定殖率和总定殖率在时间上分布规律一致,0~10 cm 土层随时间变化比较剧烈,呈降—升—降—升趋势,都在 10 月有最小值;而其他 3 个土层随时间变化较缓慢,均呈升—降—升趋势。泡囊定殖率随时间变化幅度较大,0~10 cm 土层随时间变化先缓慢上升,然后急剧降低,到 11 月达到最小值后又急剧上升;10~40 cm 的 3 个土层均随时间呈升—降—升—降—升的变化趋势。丛枝定殖率从 7 月到 11 月变化不大,从 11 月后急剧上升达到最大值。

表 2 不同土层土壤因子和 AM 真菌定殖率及孢子密度的方差分析

Table 2 Means compare analysis of AM fungi colonization rate, spore density and soil factors from the rhizosphere of Raspberry in different depths

月份 Month	土层 Soil layer (cm)	碱解 N Alkali solution N (mg/kg)	速效 P Available P (mg/kg)	有机质 Organic matter (mg/kg)	pH	孢子密度 Spore density (个/100g 土)	菌丝 Hypha (%)	泡囊 Vesicule (%)	丛枝 Arbuscule (%)	总定殖率 Total (%)
7	0~10	63 _{ab}	24.84 _a	1.79 _a	8.25 _a	156 _a	76.83 _a	42.03 _a	0 _a	80.75 _a
	10~20	44 _b	25.47 _a	1.80 _a	8.38 _a	169.33 _b	52.85 _b	15.2 _{ab}	1.25 _a	59.1 _b
	20~30	61 _a	12.96 _a	1.67 _a	8.41 _a	280 _a	22.13 _c	13.43 _b	0 _a	22.13 _c
	30~40	51 _{ab}	33.46 _a	1.89 _a	8.08 _a	200 _{ab}	9.63 _c	7.6 _b	0 _a	12.8 _c
8	0~10	68 _{ab}	23.87 _a	3.97 _a	8.34 _a	101 _a	62.58 _a	42.5 _a	0 _a	69.53 _a
	10~20	58 _c	22.43 _a	3.45 _a	8.21 _a	298 _a	64.65 _a	41.3 _a	0 _a	70.83 _a
	20~30	74 _a	21.97 _a	3.03 _a	8.07 _a	187 _a	45.3 _{ab}	39.25 _a	0 _a	53.98 _{ab}
	30~40	61 _{bc}	17.55 _a	5.19 _a	8.23 _a	320 _a	34.35 _b	30.18 _a	0 _a	42 _b
9	0~10	58 _a	14.06 _a	2.71 _a	8.08 _a	718 _a	80.95 _a	50.95 _a	0 _a	86.70 _a
	10~20	51 _a	15.63 _a	2.26 _b	8.08 _a	1028 _a	54.53 _{ab}	21.53 _b	0 _a	54.53 _b
	20~30	46 _a	11.76 _a	2.09 _b	8.12 _a	826 _a	47.23 _b	25.33 _{ab}	0 _a	47.23 _b
	30~40	63 _a	9.90 _a	2.01 _b	8.09 _a	991 _a	39.75 _b	15.48 _b	0 _a	45.05 _b
10	0~10	96 _a	11.68 _a	2.13 _a	8.15 _a	1132 _a	34.63 _a	29.43 _a	0 _a	44 _a
	10~20	56 _a	10.89 _a	1.96 _{ab}	8.19 _a	1175 _a	47.85 _a	33.63 _a	0 _a	55.45 _a
	20~30	65 _a	11.67 _a	1.78 _{bc}	8.20 _a	1225 _a	33.95 _a	29.90 _a	0 _a	41.35 _a
	30~40	86 _a	12.29 _a	1.68 _c	8.22 _a	1321 _a	42.70 _a	22.18 _a	0 _a	47.50 _a
11	0~10	10 _a	13.1 _a	2.1 _a	8.1 _a	1390 _a	54.5 _a	17.3 _a	0 _a	70.60 _a
	10~20	12 _a	15.8 _a	2.2 _a	8.1 _a	1233 _a	34.9 _a	22.5 _b	0 _a	46.25 _a
	20~30	13 _a	16.6 _a	2.3 _a	8.1 _a	1455.0 _a	31.1 _a	12.4 _b	0 _a	47.28 _a
	30~40	12 _a	22.2 _a	2.2 _a	8.09 _a	1442 _a	24.7 _a	12.1 _{ab}	0 _a	46.73 _a
12	0~10	47 _a	11.87 _a	2.29 _a	8.00 _a	166.67 _a	70.55 _a	47.53 _a	19.18 _a	73.88 _a
	10~20	44 _a	12.26 _a	2.11 _a	7.98 _a	185.33 _a	47.23 _a	37.95 _a	2.50 _b	49.80 _a
	20~30	44 _a	10.82 _a	2.04 _a	7.95 _a	272.00 _a	47.85 _a	29.68 _a	0.83 _b	49.68 _a
	30~40	56 _a	15.20 _a	2.24 _a	7.93 _a	324 _a	36.25 _a	16.03 _a	2.55 _b	43.10 _a

2.2 土壤因子和树莓根际 AM 真菌定殖率及孢子密度的空间分布

由表 2 可知,土壤速效磷和 pH 在空间上均无明显变化规律。7 月和 8 月碱解氮在 20~30 cm 土层含量最高,而 10~20 cm 土层碱解氮的含量最低。9 月和 10 月土壤有机质在 0~10 cm 土层含量最高,明显高于其他 3 个土层,而剩余 4 个月的土壤有机质在土层上没有明显变化。

除 7 月份 20~30 cm 土层孢子数量明显多外,其他月份孢子密度在空间上分布规律不明显。菌丝定殖率和总定殖率的空间分布规律大致相同,基本随土层加深呈逐渐下降趋势,在 0~10 cm 土层定殖率最高,到 30~40 cm 土层降到最低。泡囊定殖率随土层加深呈下降趋势,但 7 月、9 月和 12 月随土层变化急剧下降,而其他 3 个月随土层下降缓慢。

丛枝定殖率除 12 月随土层加深急剧降低外,其他月份均随土层变化不明显。

2.3 土壤因子与 AM 真菌定殖率及孢子密度的相关性分析

由表 3 可知,土壤速效磷和孢子密度与 AM 真菌各项定殖率之间无明显相关性,土壤碱解氮与孢子密度呈极显著负相关,土壤有机质与孢子密度呈显著负相关,土壤 pH 值与菌丝定殖率呈显著负相关,与泡囊定殖率呈极显著负相关。

3 讨 论

实验结果表明,树莓根际 AM 真菌定殖率和孢子密度具有明显的时空变化规律。AM 真菌最大定殖率出现在 2004 年 9 月 0~10 cm 土层,总定殖率高达 86%,土壤孢子在 2004 年 11 月数量最多,平

均高达 14 个/g 土;土壤孢子在土层之间无明显变化。说明树莓能与 AM 真菌形成良好的共生关系。

表 3 土壤因子与 AM 真菌定殖率及孢子密度的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between AM fungi colonization rate, spore density and soil factors

项目 Item	菌丝 Hypha	泡囊 Vesicule	丛枝 Arbuscule	总定殖率 Total	孢子密度 Spore density
碱解 N Alkali solution N	−0.02	−0.148	−0.035	−0.013	−0.337 **
速效 P Availabl P	0.088	−0.025	−0.041	0.087	−0.144
有机质 Organic matter	0.132	0.177	−0.008	0.148	−0.258 *
pH	−0.208 *	−0.296 **	−0.151	−0.199	−0.188
孢子密度 Spore density	−0.077	−0.031	−0.147	−0.069	1

注: * 表示两者之间在 5%水平上显著相关; ** 表示两者之间在 1%水平上极显著相关。

Note: * means 5% significant differences; ** means 1% significant differences.

3.1 AM 真菌定殖率的时空分布

不同时间,不同土层及 AM 真菌不同结构(菌丝,泡囊和丛枝)的定殖规律不尽相同。在菌根形成过程中,菌丝体首先接触植物根系并入侵根表皮,在皮层细胞内形成丛枝,丛枝在细胞中存活时间较短,仅几天至十多天就完全消解。随着入侵菌丝顶端膨大或其内液泡变大,有大量细胞间和细胞内泡囊形成,其间少数泡囊可能因收缩而衰老。菌丝在植物体内侵染活跃,能进一步在根际间发育形成网络结构^[10]。前人研究发现,多数 AM 真菌都有其最适温度范围^[11],Abbott 等^[12]证明土壤温度的高低直接影响 AM 真菌的分布及侵染能力,贺学礼等^[13]发现随着 AM 真菌发育时间延长,其侵染率呈递增趋势。本实验中,首先在时间分布上,菌丝定殖率和总定殖率在 10~40 cm 土层均在 8 月出现最大值,这是因为 8 月后,随着气温逐渐下降,植株缓慢衰老,真菌生长缓慢,侵染能力逐渐下降所致;而 0~10 cm 土层 AM 真菌定殖率随时间变化幅度较大,是由于表层土壤温度随时间变化的趋势比深层土壤明显,故升降幅度大。其次是采样土层的差异,AM 真菌定殖率均随土层加深呈降低趋势,这是由于 AM 真菌属好气性真菌,随土层加深,氧气含量降低,不利于 AM 真菌的侵染。Saif^[15]试验证明在土壤中通入一些氧气,菌根内的泡囊定殖率增加 21%。

3.2 AM 真菌定殖率及孢子密度与土壤因子的相关性

Pearson^[15~16]等研究表明,由于孢子数量、菌丝生长、繁殖体侵染速率及真菌利用碳化物能力等方面有差异,造成不同真菌形成 VA 菌根的能力不同,并且真菌间的竞争作用直接影响真菌孢子的丰富度和产生菌丝的能力。本实验表明,孢子密度与土壤碱解氮呈极显著负相关,与土壤有机质呈显著负相关,这个结果与 AM 真菌本身的生长特性有关,自然界中 AM 真菌的初侵染源都是来自土壤中的孢

子,当土壤孢子在合适条件下萌发时,吸收了土壤中大量 N 素和有机质,当孢子萌发形成较多的吸收结构一菌丝时,土壤碱解氮和有机质就被大量消耗。有些研究表明,孢子密度与土壤有机质呈显著正相关,可能是因为样地的土壤有机质含量在有效范围内;但当超过一定范围时,AM 真菌的分布就随有机质含量增高而减少。但也有研究表明,AM 真菌定殖率和土壤肥力之间的相关性小或没有相关性^[17],而贺学礼等^[18~20]发现 AM 真菌的分布和定殖与土壤因子密切相关。即许多同类试验却得出了不一致的结果,这可能是由于被测植物、AM 真菌以及土壤的差异所致,说明土壤因子对 AM 真菌定殖率的影响是综合作用的结果,各土壤因子并不是独立地对 AM 真菌产生作用,而是作为一个整体综合作用^[21]。因此,当研究一个土壤因子对 AM 真菌的影响时,不能忽视与其他因子的关系。植物根引起的根际动态变化,从多方面影响着植物营养状况乃至植物生长和发育,根际 pH 是其中最敏感的因子之一。AM 真菌可通过扩大植物根的表面积,从而改变植物根际土壤 pH 已被证实^[22],Buwalda^[23]认为这与菌根植物吸收阴、阳离子不平衡有关,他发现,谷类植物被 AM 真菌侵染后,阴离子吸收总量增加,改变了菌根际土壤 pH。Li^[24]等研究发现,在施用 NH₄⁺-N 的土壤中,Glomus mosseae 使白三叶草的根际土壤 pH 下降了 0.5 个单位。由于菌根植物较非菌根植物能更有效的利用 NH₄⁺-N,VAM 真菌的菌丝吸收 NH₄⁺-N 后,植物吸收的阳离子总量大于吸收的阴离子总量,为达到菌丝内的电化学平衡,菌丝分泌 H⁺,酸化了菌丝根际土壤,从而降低土壤的 pH。本实验中,土壤 pH 与菌丝定殖率呈显著负相关,与泡囊定殖率呈极显著负相关,这与前人的研究结果一致。

目前,由于施用大量化肥而使土壤地力退化,降低植物品质,已成为人们的共识。利用 AM 真菌的

特点,通过其自身生长、繁殖、侵染过程改善植物生长的根际环境,从而达到使植物生长增效的目的,不失是一个很好的发展方向。从本文研究结果看,树莓能与 AM 真菌形成良好共生关系,并且改善了根际土壤的微环境,但对植物的增效机理、发挥作用持续时间的长短等方面仍有待进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 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,1997,51—60.

[2] Brundrett M C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plant[J]. *New Phytologist*, 2002, 154:275—304.

[3] Karen O, Hogberg N, Dahlberg A, et al. Inter- and intraspecific variation in the ITS region of rDNA of ectomycorrhizal fungi in Fennoscandia as detected by endonuclease analysis[J]. *New Phytologist*, 1997, 136:313—325.

[4] 许 洋,王笑山. 树莓和黑莓栽培技术研究—I 生长及开花结实习性[J]. *林业科技通讯*, 2000, 11: 11—14.

[5] 贺善安,顾姻,孙醉君,等. 黑莓引种理论导向[J]. *植物资源研究*, 1998, 7(1): 1—9.

[6] HE XUE-LI, Stanislav Mouratov, Steinberger Y. Spatial distribution and colonization of Arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of desert shrubs[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(2): 223—229.

[7] 李酉开,蒋柏藩,袁可能,等. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983.

[8] 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—161.

[9] Ianson D C, Allen M F. The effects of soil texture on extracion of vesicular arbuscular mycorrhizal spores from arid soils[J]. *Mycologia*, 1986, 78:164—168.

[10] 贺学礼,李生秀. 玉米幼苗 VA 菌根形成过程的研究[J]. *西北植物学报*, 1998, 18(6): 61—63.

[11] 贺学礼,李生秀. 泡囊—丛枝菌根生态学研究进展[J]. *干旱地区农业研究*, 1996, 14(1): 35—39.

[12] Abbott L K. An ecological view of the formation of VA mycor-

rhizae[J]. *Plant and Soil*, 1994, 159:69—78.

[13] 贺学礼, Yosef Steinberger. 丛枝霸王(*Zygophyllum dumosum*) 根际 AM 真菌生态学研究[J]. *西北植物学报*, 2001, 21(6): 1070—1077.

[14] SAIF S R. The influence of soil aeration on the efficiency of VA mycorrhizae I. Effect of soil oxygen on the growth and mineral uptake of *Eupatorium odoratum* L. inoculated with *Glomus macrocarpum*[J]. *New Phytologist*, 1981, 88:649—659.

[15] Pearson J K, Jakobsen I. Intrasymbiotic exchange of carbon and phosphorus between cucumber and three arbuscular-mycorrhizal fungi[J]. *New Phytologist*, 1993, 124:481—488.

[16] Abbott L K, Gaie Y C. An ecological view of the formation of VA mycorrhizae[J]. *Plant and Soil*, 1994, 159:69—78.

[17] Hayman D S, Johnson A M, Duddlesdin I. The influence of phosphate and crop species on endogone spores and vesicular-arbuscular mycorrhiza under field conditions[J]. *Plant and Soil*, 1975, 43:489—495.

[18] Lorgio E A, Julio R G., Peter L M. Variation in soil micro-organisms and nutrients underneath and outside the canopy of *Adesmia bedwellii*(Papilionaceae) shrubs in arid coastal Chile following drought and above average rainfall[J]. *Journal of Arid Environments*, 1999, 42:61—70.

[19] Dhillon S S, Zak J C. Microbial dynamics in arid ecosystems: desertification and the potential role of mycorrhizas[J]. *Revista Chilena de Historia Natural*, 1993, 66:253—270.

[20] Xueli He, Stanislav Mouratov, Steinberger Y. Spatial distribution and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi under the canopies of desert halophytes[J]. *Arid Land Research and Management*, 2002, 16(2): 149—160.

[21] 贺学礼,杨宏宇,赵丽莉. 刺槐根际 AM 真菌时空分布和定殖[J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 2005, 25(1): 62—66.

[22] Smith S E, Smith F A. Structure and function of the interfaces in biotrophic symbioses as they relate to nutrient transport[J]. *New Phytologist*, 1990, 114:1—38.

[23] Buwalda J G, Stribley D P, Tinker P B. Increased uptake of bromide and chloride by plants infected with Vesicular-Arbuscular Mycorrhizas[J]. *New Phytologist*, 1983, 93:217—225.

[24] Li X L, George D E. Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil[J]. *Plant and Soil*, 1991, 136:41—48.

Temporal and spatial distribution and colonization of AM fungi round the rhizosphere of raspberry

WANG Shao-feng¹, HE Xue-li^{1,2}, CHEN Tie-shan¹, WANG Juan²

(1. College of life Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shannxi 712100, China;
2. College of life Science, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China)

Abstract: Soil samples from the 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm and 30~40 cm depths were collected monthly between July and December 2004, the correlation of temporal and spatial distribution of colonization of AM fungi round the rhizosphere of Raspberry to soil factors was analyzed. The result indicates that the good symbiosis between AM fungi and raspberry was formed. AM fungal colonization and spore density was used to

assess and compare the responses of AM fungi to soil condition. The mean percent colonization and spore density of AM fungi reached maximal values of 86% in September and 130 pre lg soil in November 2004, respectively. Soil alkali solution N had a significant negative effect on spore density, and soil organic matter presented negative correlation to spore density. Soil pH had a negative effect on hyphae percent colonization, and a significant negative effect on vesicle percent colonization. This study results suggest that spore density round the rhizosphere of host plants and the different structures of AM fungi are the useful indicators for evaluating changes in soil ecosystems.

Keywords: AM fungi; temporal and spatial distribution; soil factors; Raspberry

(上接第 133 页)

[6] 汪殿蓓, 暨淑仪, 陈飞鹏. 植物群落物种多样性研究综述[J]. 生态学杂志, 2001, 20(4): 55—60.

[7] 孙玉龙, 郝振纯. TDR 技术及其在土壤水分及土壤溶质测定方面的应用[J]. 灌溉排水, 2000, 19(1): 37—41.

[8] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 146—195, 272—276.

[9] 张元明, 陈亚宁, 张道远. 塔里木河中游植物群落与环境因子的关系[J]. 地理学报, 2003, 53(1): 109—118.

[10] 关文彬, 曾德慧, 姜凤歧, 等. 中国东北西部地区沙质荒漠化过程与植被动态关系的生态学研究[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 93—98.

[11] 张伟华, 关世英, 李跃进, 等. 不同恢复措施对退化草地土壤水分和养分的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 2000, 21(4): 31—35.

[12] 吴彦, 刘庆, 等. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 648—655.

[13] 安树青, 王挣峰, 朱学雷, 等. 土壤因子对次生森林群落物种多样性的影响[J]. 武汉植物学研究, 1997, 15(2): 143—150.

[14] 李新荣, 张景义, 刘立超, 等. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 257—261.

[15] Gentry A H. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients[J]. Ann Missouri Bot Gard, 1988, 75: 1—34.

[16] 张继义, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 86—92.

[17] 孔丽娟, 沈吉庆. 腾格里沙漠东南边缘植物群落物种多样性分析[J]. 宁夏农学院学报, 2003, 24(4): 25—29.

Character research of plantation and soil factors in restoration process in sandlot near altiplano bashang

FENG Wei^{1,2}, ZHANG Wan-jun¹, FENG Xue-zan¹

(1. Center for Agricultural Resource Research, Institute of Genetic and Developmental, CAS, Shijiazhuang 050021, China; 2. Graduate School of CAS, Beijing 100039, China)

Abstract: The relationship of plantation diversity and soil factors in restoration process was researched. The results showed that plantation diversity was low in early succession stages of restoration process, and soil environmental factors related to species diversity. In order to accelerate the restoration of vegetation, the nutrients and water should be enriched in early succession process in sandlot. Using multivariate statistical analysis techniques (Principle Component Analysis), we found that soil nutrient and soil water had great cumulative effect. So soil factors influenced plantation diversity.

Keywords: sandlot near altiplano Bashang; plantation diversity; soil factors; principle component analysis