

不同丛枝菌根真菌对万寿菊生长及柴油降解率的影响*

耿春女** 李培军 陈素华 张海荣 韩桂云

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

【摘要】 在盆栽条件下, 用沈阳污灌区非灭菌水稻土, 研究了柴油浓度为 $5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时接种 3 种 AM 真菌 (*Glomus mosseae*, *G. geospora*, *G. constrictum*) 和细菌对万寿菊 (*Tagetes erecta*) 耐油性的影响。结果表明, 在此浓度下, AM 菌仍能和白万寿菊形成共生体, 白色万寿菊比黄色万寿菊耐油能力强, 总生物量增加 63.1%; 接种 AM 真菌的处理, 其侵染率比对照高 3.5% ~ 29.9%。*G. mosseae* 和 *G. geospora* 是较好的菌种, 总生物量分别比对照增加 9.0% 和 42.7%; 混接 AM 真菌效果一般。施入细菌菌剂虽然抑制了 AM 菌对万寿菊的侵染, 但促进了菌根化植物的营养生长和生殖生长。5 种接菌处理中, 以接种 *G. geospora* 和混接 AM 菌和细菌的处理最好, 对柴油的降解率分别比对照增加 16.51% 和 14.05%。

关键词 AM 真菌 万寿菊 生长指标 柴油降解

文章编号 1001-9332(2003)10-1775-05 **中图分类号** Q142.3 **文献标识码** A

Effects of different arbuscular mycorrhizal fungi on *Tagetes erecta* growth and diesel degradation. GENG Chunnu, LI Peijun, CHEN Suhua, ZHANG Hairong and HAN Guiyun (¹*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2003, 14(10): 1775 ~ 1779.

The effects of *G. mosseae*, *G. geospora*, *G. constrictum* and bacteria on diesel tolerance of *Tagetes erecta* were investigated under greenhouse conditions. The results showed that AM fungi could still develop mycorrhizal associations with mum when the diesel concentration was $5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. White mum was better than yellow mum in diesel tolerance, with 63.1% total biomass increased. The colonization rate of inoculating AM fungi treatment was 3.5% ~ 29.9% higher than the control. *G. mosseae* and *G. geospora* were better strains, their biomass increasing 9.0% and 42.7% than the control, respectively, while the effect of inoculating mixed AM fungi was not obvious. Bacteria inhibited the colonization of arbuscular mycorrhizal fungi on white mum, but promoted the vegetative and reproductive growth of mycorrhizal mum. Among 5 inoculation treatments, treatments of inoculating *G. geospora* and inoculating mixed AM fungi and bacteria were better, with 16.51% and 14.05% more diesel degradation rate than that of the control, respectively.

Key words Arbuscular mycorrhizal fungi, *Tagetes erecta*, Growth indexes, Diesel degradation

1 引言

随着石油工业的发展, 石油污染的土壤面积亦在增加。沈阳污水灌区污灌 40 年来, 矿物油尤其是芳烃已在土壤中累积超过了环境容量, 稻米中有甲苯之类异味物质的累积, 严重影响了稻米的品质; 灌区地下水已有不同程度的污染; 灌区内患甲状腺肿、白血球增多、肝肿大和胃病等疾病的人数增加^[20]。因此改变污灌区的种植结构, 治理污染, 改善污灌区居民的健康, 为其提供新的经济出路, 已成为当务之急。

丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal fungus, 以下简称 AM 真菌) 是一类能与绝大多数植物建立共生关系的真菌, 它能促进植物吸收养分, 加速生长, 并提高抗逆能力。人们已开始尝试将菌根真菌用于修复重金属、农药、石油和酚酸酯污染土壤。王

曙光等^[19]将 AM 真菌接种到豇豆, 用于 DEHP 和 DBP (增塑剂) 的降解。在先前的实验中, 我们已成功地将辽河油田筛选出的 3 种 AM 菌与三叶草在原油胁迫下构建了共生体。但三叶草的经济价值低, 故我们选择了万寿菊的白花和黄花两个品种, 研究在柴油污染时接种 AM 菌和细菌对万寿菊营养生长、生殖生长和柴油降解的影响, 为石油污染土壤的生物治理提供新的途径。

2 材料与方法

2.1 供试材料

以万寿菊为供试植物, 选取沈阳污水灌区的水稻土 (表

* 中国科学院知识创新项目 (KZCX2-SW-416, SCXZD0103) 和中国科学院陆地生态过程重点实验室基金资助项目。

** 通讯联系人。

2001-12-27 收稿, 2002-06-24 接受。

1), 采用 20# 重柴油和 3 种 AM 真菌(从辽河油田污染土壤中分离出的 *G. mosseae*、*G. geospora*、*G. constrictum*) 以及沈抚污水灌区水田中分离出的细菌制成的菌剂, 进行盆栽试验.

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of applied soil

pH	全 N Total N (%)	全 P Total P (%)	全 K Total K (%)	OM	AP	Oi
5.73	0.137	0.092	1876	24.9	20.08	475

OM: 有机质 Organic matter ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); AP: 速效磷 Available P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); Oi: 矿物油 Oil ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

2.2 试验设计

首先进行预备实验, 确定油浓度为 $5\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时不同万寿菊品种的耐油性. 根据预备实验的结果, 选择白花万寿菊作为供试植物. 油浓度设为 $5\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 下设不接菌(CK), 单接种 *G. mosseae*、*G. geospora* 和 *G. constrictum*, 以及混接 3 种 AM 菌(以下简称 M)、混接 M 和细菌 6 个处理. 每处理重复 3 次, 随机排列.

每盆装土 $1\,000\text{ g}$ (河砂和水稻田土以 2:1 混合, 不灭菌), 将 20# 重柴油按所需浓度拌入土中; 采用花卉土(其中没有 AM 真菌孢子)育万寿菊苗, 15 d 时选取大小一致的万寿菊苗移栽到盆里, 每盆 2 棵; 每盆每月浇含 $\text{Ca}(\text{NO}_3) 1.00\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4 0.125\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{MgSO}_4 0.25\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{KCl} 0.125\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{FeCl}_3 0.0125\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Knop 营养液 100 ml .

2.3 测定方法

90 d 时将万寿菊从盆中取出, 冲洗干净, 测定其感染率、株高、主根长、地径、侧根数、分枝数、蕾数、花数、茎和根干重. 根样染色用 Phillips 和 Hayman 法^[11], 感染率观测用交叉划线法^[5], 统计分析用 Duncan's 新复极差法.

3 结果与分析

3.1 柴油胁迫下植物-AM 菌根真菌共生体的确认

按 Phillips 和 Hayman 法^[11] 染色植株的幼根, 将脱色后的根段在载玻片上轻轻压碎, 在显微镜下

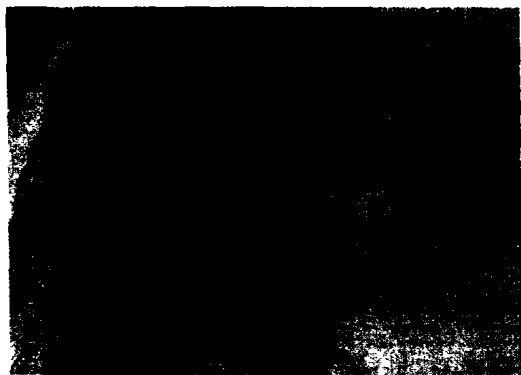


图 1 柴油浓度为 $5\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时万寿菊根部 AM 菌根的菌丝
Fig. 1 Hypha of arbuscular mycorrhizae at the root of *Tagetes erecta* at diesel concentration $5\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.



图 2 柴油浓度为 $5\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时万寿菊根部的 AM 菌根哑铃形泡囊
Fig. 2 Rac of arbuscular mycorrhizae at the root of *Tagetes erecta* at diesel concentration $5\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

进行观察. 在根部皮层细胞间和细胞内可以见到被染成蓝色的菌丝体和大量与菌丝相连的泡囊(图 1、2). 泡囊和丛枝是 AM 菌侵染植物后在根部皮层细胞间和细胞内形成的结构, 可扩大与宿主物质交换的面积. 由此可见, 在柴油浓度为 $5\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, AM 菌仍能侵染植物, 能与植物形成共生体, 这是将菌根用于修复石油污染土壤的前提和基础.

3.2 不同植物品种和 AM 真菌对油胁迫的反应
3.2.1 油胁迫对不同植物品种的影响 评价植物耐油性有许多指标, 但对同种植物而言, 感染率、株高、地径、主根长、侧根数、分支数、蕾数、花数、茎和根干重是比较直观和可靠的指标. $5\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的油浓度对白花万寿菊和黄花万寿菊生长的影响见表 2. 从表 2 可以看出, 在此油浓度下, 不同的万寿菊品种对油胁迫的反应是不一样的. 除感染率和根干重外, 白花万寿菊的各项指标均高于黄花万寿菊. 白花万寿菊的株高、地径、主根长、侧根数等生长指标分别比黄花万寿菊高 14.5%、10.2%、5.4% 和 19%; 分支数和蕾数等生育指标分别比黄花万寿菊高 124.5% 和 257.1%; 茎干重和总重等生物量指标分别比黄花万寿菊高 84.9% 和 63.1%.

3.2.1 油胁迫对不同植物品种的影响

评价植物耐油性有许多指标, 但对同种植物而言, 感染率、株高、地径、主根长、侧根数、分支数、蕾数、花数、茎和根干重是比较直观和可靠的指标. $5\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的油浓度对白花万寿菊和黄花万寿菊生长的影响见表 2. 从表 2 可以看出, 在此油浓度下, 不同的万寿菊品种对油胁迫的反应是不一样的. 除感染率和根干重外, 白花万寿菊的各项指标均高于黄花万寿菊. 白花万寿菊的株高、地径、主根长、侧根数等生长指标分别比黄花万寿菊高 14.5%、10.2%、5.4% 和 19%; 分支数和蕾数等生育指标分别比黄花万寿菊高 124.5% 和 257.1%; 茎干重和总重等生物量指标分别比黄花万寿菊高 84.9% 和 63.1%.

菌根感染率不仅是描述植物根系受 AM 真菌感染程度的指标, 也是反映丛枝菌根形成^[1] 和 AM 真菌对植物亲和力的指标^[10]. 对照处理虽然没有接 AM 菌, 但 AM 菌对白花万寿菊和黄花万寿菊的感染率分别达 49.87% 和 53.68%. 这是因为土壤没有灭菌, 水田中本来就有 AM 菌孢子. 虽然从与 AM 菌亲和性的角度看, 白花万寿菊比黄花万寿菊差, 但除根干重外, 白花万寿菊的各项指标均优于黄花万寿菊, 故白花万寿菊比黄花万寿菊更能抵抗油污的毒性, 是较好的花卉品种.

3.2.2 油胁迫下不同 AM 真菌对万寿菊的影响 接不同 AM 真菌对万寿菊各生长指标的影响见表 3。由表 3 可见, 接 AM 真菌处理, 其侵染率均高于不

表 2 不同万寿菊品种对柴油的反应

Table 2 Response of different *Tagetes erecta* varieties to diesel

指标 Index	项目 Item	植物品种 Plant variety		增加率 Increasing rate (%)
		白花万寿菊 White mum	黄花万寿菊 Yellow mum	
侵染率 Colonization rate (%)		49.87	53.68	-7.1
生长指标 Growth index	株高 Shoot length(cm)	32.55	28.44	14.5
	主根长 Root length(cm)	22.25	21.11	5.4
	地径 Diameter(mm)	4.225	3.833	10.2
	侧根数 Lateral root number	67.5	66.22	1.9
生育指标 Developing index	分枝数 Offshoot number	2.75	1.22	125.4
	蕾数 Bud number	2	0.56	257.1
	花数 Flower number	0.75	0	-
生物量 Biomass	茎干重 Shoot weight(g)	1.72	0.93	84.9
	根干重 Root weight(g)	0.27	0.29	-6.9
	总重 Whole weight(g)	1.99	1.22	63.1

接菌处理, 4 种接菌处理比对照增加 3.5% ~ 29.9%, 以接种 *G. geospora* 处理最好。就株高、主根长和地径而言, 接 AM 真菌处理并不都比 CK 高, 如接种 *G. constrictum* 处理, 其株高、主根长和地径分别比 CK 低 4.2%、8.6% 和 3.3%, 但还未达到差异显著水平。单接 AM 菌的侧根数均比 CK

低 4.9% ~ 15.6%。从 3 个生育指标来看, 接菌处理的部分指标高于 CK, 如接种 *G. mosseae* 的分枝数、接种 *G. geospora* 的蕾数和花数、接种 *G. constrictum* 的蕾数分别比对照高 15.3%、10.7%、8.5% 和 16.5%。从 3 个生物量指标来看, 除接种 *G. constrictum* 处理外, 接种 *G. mosseae* 和 *G. geospora* 处理, 其各项指标均高于 CK, 如接 *G. geospora* 的茎干重、根干重和总重分别比对照高 41.9%、48.1% 和 42.7%, 接种 *G. mosseae* 的茎干重、根干重和总重分别比对照高 41.9%、48.1% 和 42.7%。此外, 接种 AM 混合菌的处理, 其侵染率为 54.2%, 比对照高 8.68%; 株高、主根长、侧根数等生长指标分别比对照高 4.09%、5.62% 和 3.33%; 根干重比对照高 40.74%, 而地径、分枝数、花数、茎干重和总重分别比对照低 2.37%、36.36%、66.67%、7.56% 和 1.01%。

从菌种筛选的角度看, 株高、主根长、侧根数和地径等生长指标并不很重要, 而侵染率和生物量比较重要。由上面的分析可以得出, 当土壤中油浓度为 $5000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、供试植物为万寿菊时, *G.*

表 3 不同菌种对万寿菊各项指标的影响

Table 3 Effect of different strains on indexes of white *Tagetes erecta*

指标 Index	项目 Item	CK	E	增加率 Adding rate (%)	F	增加率 Adding rate (%)	G	增加率 Adding rate (%)	M	增加率 Adding rate (%)
侵染率 Colonization rate (%)		49.87	62.99	26.3	64.79	29.9	51.61	3.5	54.2	8.68
生长指标 Growth index	株高 Shoot length(cm)	32.55	33.75	3.7	37.5	15.2	31.17	-4.2	33.88	4.09
	主根长 Root length(cm)	22.25	24.58	10.5	21.17	-4.9	20.33	-8.6	23.50	5.62
	地径 Diameter(mm)	4.225	4.170	-1.3	4.457	5.5	4.087	-3.3	4.125	-2.37
	侧根数 Lateral root number	67.5	57.0	-15.6	62.2	-7.9	64.2	-4.9	69.75	3.33
生育指标 Developing index	分枝数 Offshoot number	2.75	3.17	15.3	2.33	-15.3	2.5	-9.1	1.75	-36.36
	蕾数 Bud number	2	1	-50.0	2.17	8.5	2.33	16.5	2.0	0.00
	花数 Flower number	0.75	0.50	-33.3	0.83	10.7	0.67	-10.70	0.25	-66.67
生物量 Biomass(g)	茎干重 Shoot weight(g)	1.72b	1.78b	3.5	2.44a	41.9	1.20c	-30.2	1.59	-7.56
	根干重 Root weight(g)	0.27b	0.39a	44.4	0.40a	48.1	0.19b	-29.6	0.38	40.74
	总重 Whole weight(g)	1.99b	2.17b	9.0	2.84a	42.7	1.39c	-30.2	1.97	-1.01

E: *Glomus mosseae*, F: *G. geospora*, G: *G. constrictum*, M: AM 混合菌 Mixed arbuscular mycorrhizal fungi.

mosseae 和 *G. geospora* 为较好的菌种, AM 混合接菌效果不明显。

3.3 菌根根际细菌效应

施入细菌菌剂对 AM 菌根化万寿菊各项指标的影响见表 4。从表 4 可以看出, 施入细菌菌剂的处理, 其各项指标除侵染率外, 均高于不施细菌菌剂的处理; 株高、主根长、地径、侧根数等生长指标分别比对照高 5.5%、16.5%、11.9% 和 17.6%; 茎干重、根干重和总重等生物量指标分别比对照高 22%、15.8% 和 20.8%; 分枝数、蕾数和花数等生育指标分别比对照高 114.3%、75% 和 0%。由此可见, 施入细菌菌剂虽然抑制了 AM 菌对万寿菊的侵染,

表 4 施入细菌菌剂对 AM 菌根化万寿菊各项指标的影响

Table 4 Effect of adding bacteria on each index of AM mycorrhizal *Tagetes erecta*

指标 Index		接菌处理 Inoculation treatment		增加率 Increasing rate (%)
		M	M+B	
侵染率 Colonization rate (%)		54.2	52.8	-2.5
生长指标 Growth index	株高 Shoot length(cm)	33.88	35.75	5.5
	主根长 Root length(cm)	23.50	27.38	16.5
	地径(mm)	4.125	4.615	11.9
	侧根数 Lateral root number	69.75	82	17.6
生育指标 Developing index	分枝数 Off shoot number	1.75	3.75	114.3
	蕾数 Bud number	2.0	3.5	75
	花数 Flower number	0.25	0.25	0
生物量 Biomass(g)	茎干重 Shoot weight(g)	1.59	1.94	22
	根干重 Root weight(g)	0.38	0.44	15.8
	总重 Whole weight(g)	1.97	2.38	20.8

B: 接细菌 Inoculating bacteria.

但是促进了菌根化植物的营养生长和生殖生长。

3.4 接 AM 菌和细菌对柴油降解率的影响

不同接菌处理对柴油降解的影响见表 5。对照降解率为 80.13%。接种 AM 菌和细菌均能提高柴油的降解, 其中接种 *G. geospora* 处理降解率最高, 为 93.26%, 比不接菌的对照高 16.51%; 接种 *G. mosseae* 和 *G. constrictum* 处理降解率分别比不接菌的对照高 12.57% 和 1.37%; 接种 AM 混合菌处理降解率为 82.93%, 比不接菌的对照高 3.49%, 分别比单接 *G. constrictum*、*G. mosseae* 和 *G. geospora* 高 2.09%、8.06% 和 11.08%; 接种 AM 混合菌和细菌处理, 其降解率为 91.39%, 比不接菌的对照高 14.05%, 比混接 AM 菌高 10.20%, 比单接 *G. mosseae* 和 *G. constrictum* 高 1.32% 和 12.51%, 比单接 *G. geospora* 低 2.11%。由此可见, 单接 *G. geospora* 和 *G. mosseae*, 以及混接 AM 菌和细菌能显著提高柴油的降解率。

植物能改变土壤的外部环境, 显著增加对污染物的降解量。在污染土壤中种上适宜植物, 甚至能对深层土壤污染达到有效去除的目的。在植物存在的条件下, 土壤微生物降解的功能增强^[18]。自然界中植物绝大部分是菌根化的, 菌根化植物能够改变其根际的微环境, 使之有利于微生物的活动, 从而加速微生物的降解。

表 5 接 AM 菌和细菌对柴油降解率的影响

Table 5 Effect of inoculation of AM fungi and bacteria on degradation rate of diesel

接菌处理 Inoculation treatment	降解率 Biodegradation rate (%)	增加率 Increasing rate (%)
CK	80.13	0
<i>G. mosseae</i>	90.20	12.57
<i>G. geospora</i>	93.36	16.51
<i>G. constrictum</i>	81.23	1.37
<i>G. spp</i>	82.93	3.49
<i>G. spp</i> + B+	91.39	14.05

4 讨 论

过去的研究认为, 水生植物是非菌根化的^[3,8], 但在某些环境条件下, 典型的非菌根化植物也能被 AM 菌侵染。在水生生态系统中, 土壤的吸附表面积与水柱的合适比例能影响菌根共生的依赖性。Read 等^[12]发现, 水生植物的侵染率很低, 并且(或)在干季发生; 而 Rickerl 等^[13]发现, AM 菌对野生欧亚甘草的侵染率高达 78%, 几个湿地植物均能形成菌根, 尤其在相对干旱的环境下。Sondergaard 等^[17]发现, 他们所收集的 7 个湖区作物中 5 个是菌根化的, 也就是说如能控制好水生植物生长的水环

境, 水生植物也能菌根化。Khalil 等^[9]发现, 在排水不良的土壤中菌根孢子数量更多。Rickerl 等^[13]发现, 与每千克干土中 2 740 个 AM 真菌孢子相比, 每千克湿地土壤中孢子数高达 5 000 个。我们的实验也证明, 水田中存在大量的 AM 菌孢子。有的研究发现, 在盆栽条件下, 用非从水田分离的 AM 真菌接种湿地稻, 能促进植株生长和其对 P 和 Zn 的吸收^[16]。Secilia 等^[15]发现, 基于谷物产量和总生物量, *G. intraradices* 和 *Acaulospora* sp 用于接种水稻苗圃是高效和合适的。基于上面的分析, 应该继续研究不同 AM 菌对水稻等水生植物的侵染及对有机污染物的降解, 使有机污染土壤的修复有更广阔的应用前景。

菌根根际微生物是降解有机污染物的主导力量。菌根的形成扩大了根系的吸收范围, 增强了对营养元素, 特别是 P 素的吸收, 促进了植物的生长; 植物的生理特性和细胞膜透性亦因此而发生一些改变, 使根系分泌物的数量和质量亦随之发生变化, 从而影响根区微生物的数量和组成^[6,7,14]。Bagyaraj 等^[2]首次发现, 马铃薯植株感染 AM 菌根真菌并形成菌根后, 根际细菌和放线菌的数量均增加。沈抚灌区水田中有相应的降解微生物群落, 降解微生物以细菌为主, 而细菌中以芽孢杆菌占优势, 其次是假单胞菌、黄单胞菌、邻单胞菌、不动杆菌及短杆菌属; 真菌和放线菌较少, 真菌多系青霉和曲霉, 放线菌以链霉菌为主^[4]。在有机物污染的土壤中施入菌根真菌菌剂, 就能在菌根根际富集土壤微生物, 能使土壤形成一个稳定的土壤结构, 矿化释放无机营养成分, 产生生长调节物质, 从而降解土壤中的污染物。

参考文献

- 1 Bagyaraj DJ. 1994. Vesicular-arbuscular: Application in agriculture. In: Norris JR, Read DJ, Varma AK eds. Techniques for Mycorrhizal Research, Method in Microbiology. London: Academic Press. 818 ~ 833
- 2 Bagyaraj DJ, Menge JA. 1978. Interaction between a VA mycorrhiza and azotobacter and their effects on rhizosphere microflora and plant growth. *New Phytol*, 80: 567 ~ 573
- 3 Bristow JM. 1974. The development and function of roots. In: Torrey JG, Clarkson DT eds. London: Academic Press.
- 4 Gao Z-M (高拯民). 1986. Study of Polluting Ecology in Soil-Plant System. Beijing: China Science and Technology Press. 360 ~ 378 (in Chinese)
- 5 Gong M-Q (弓明钦), Chen Y-L (陈应龙), Zhong C-L (钟崇禄). 1997. Study and Application of Mycorrhiza. Beijing: China Forest Press. 51 ~ 55 (in Chinese)
- 6 Graham JH, et al. 1981. Membrane-mediated decreases in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Plant Physiol*, 68: 548 ~ 552
- 7 Gu X-Y (顾向阳), Hu Z-J (胡正嘉). 1994. Effect of VA mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on microbionmass and biomass of cotton rootsphere. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 13(2): 7 ~ 11 (in Chi-

- nese)
- 8 Harley JL. 1970. The importance of microorganisms in colonizing plants. *Trans Phytol*, **84**: 489~500
 - 9 Khalil S, Loynachan TE. 1993. VAM fungal spores and soil drainage in soybean fields. In: *Agronomy Abstracts*. ASA, Madison: WI. 253
 - 10 Lin X-G(林先贵), Hao W-Y(郝文英). 1989. Dependence of different plants on VA fungi. *Acta Bot Sin* (植物学报), **31**: 721~725(in Chinese)
 - 11 Phillips JM, Hayman DS. 1970. Improved procedures for clearing and attaining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans Br Mycol Soc*, **55**: 158~161
 - 12 Read DJ, Wagner D, Moorman T, *et al.* 1976. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid West I. A comparison of incidence of mycorrhizae in severely disturbed vs. natural environments. *Am J Bot*, **66**: 6~13
 - 13 Rickerl DH, Sancho FO, Ananth S. 1994. Vesicular-arbuscular endomycorrhizal colonization of wetland plants. *J Environ Qual*, **23**: 913~916
 - 14 Schwab SM, *et al.* 1984. Quantitative and qualitative comparison of root exudates of mycorrhizal and non-mycorrhizal plant species. *Can J Bot*, **62**: 1227~1231
 - 15 Secilia J, Bagyaraj DJ. 1992. Selection of efficient vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for wetland rice(*Oryza sativa* L.). *Biol Fails*, **13**: 108~111
 - 16 Sharma AK, Singh R, Singh VA. 1988. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on uptake of phosphorous and zinc in rice (*Oryza sativa* L.). *Curr Sci*, **57**: 901~902
 - 17 Sondergaard M, Laegaard S. 1977. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in some aquatic vascular plants. *Nature*, **268**: 232~233
 - 18 Sun T-H(孙铁珩), Song Y-F(宋玉芳), Xu H-X(许华夏), *et al.* 1999. Regulation of phytoremediating soil contaminated by PAHs and mineral oil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **10**(2): 225~229(in Chinese)
 - 19 Wang S-G(王曙光), Lin X-G(林先贵), Yin R(尹睿). 2001. Effect of arbuscular mycorrhizae on degradation of PAEs. In: Huazhong Agricultural University ed. College of Life Science and Technology. Abstracts of 8th National Mycorrhizal Academic Committee. Wuhan: Huazhong Agricultural University Press. (in Chinese)
 - 20 Wu W-Z(吴维中). 1982. Assessment of Shenfu districts irrigated by oil waste water. In: Institute of Forest and Soil, Chinese Academy of Sciences ed. Thesis Collections of National Waste Water Irrigation and Environment. Beijing: Chinese Academy of Environmental Sciences & Chinese Academy of Agronomy. (in Chinese)

作者简介 耿春女, 1974 年生, 博士生, 主要从事有机污染土壤的植物修复研究, 已经发表论文 3 篇. E-mail: genchunuv@hotmail.com
