

### 3 种球囊霉属真菌对盆栽木薯生长影响

黄华成<sup>1</sup>, 唐光大<sup>1</sup>, 罗晓莹<sup>1</sup>, 庄雪影<sup>1</sup>, 陈咏娟<sup>2</sup>

(1 华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642; 2 香港理工大学 应用生物与化学技术系, 香港 九龙)

**摘要:**应用盆栽试验法, 单独接种球囊霉属 *Glomus* 菌种: 根内球囊霉 *G. intraradices* (Gi)、木薯球囊霉 *G. manihotis* (Gm) 和幼套球囊霉 *G. etunicatum* (Ge) 菌剂及混合菌剂(2G), 检测不同接种条件下对盆栽木薯 *Manihot esculenta* 根系的侵染能力及其对木薯生长的影响. 3 个试验菌种均可与木薯形成疆南星型(Arum-type)丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza, AM), 其中 Gi 和 Gm 均可在菌根内形成根内孢子. 2G 和 Gi 均显示较强的侵染能力, Gm 在早期的侵染较慢, 但在后期的感染率较高, Ge 侵染能力最差. 2G、Gi 和 Gm 处理组木薯的高度生长均比非接种处理的对照组好, 但只有 2G 处理组无论株高生长还是生物积累均达到显著水平, 其他处理组差异不显著, Ge 处理组木薯在叶部和根部生物量的积累有负向影响.

**关键词:**根内球囊霉; 木薯球囊霉; 幼套球囊霉; 木薯; 菌根感染率; 生长

中图分类号: S665.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2005)04-0043-05

#### The effects of three *Glomus* fungi on growth of *Manihot esculenta*

HUANG Hua-cheng<sup>1</sup>, TANG Guang-da<sup>1</sup>, LUO Xiao-ying<sup>1</sup>, ZHUANG Xue-ying<sup>1</sup>, CHEN Yong-juan<sup>2</sup>

(1 College of Forestry, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Department of Applied Biology and Chemical Technology, Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong)

**Abstract:** The infective abilities of three mycorrhizal species of *Glomus intraradices* (Gi), *Glomus manihotis* (Gm) and *Glomus etunicatum* (Ge), to the roots of cassava, *Manihot esculenta*, and their effects on growth of cassava were studied by potted culture. All three arbuscular mycorrhizae (AM) fungi could form the typical Arum-type structure of AM after inoculation. Among them, both Gi and Gm could produce spores within the roots. The inocula of Gi and the mixed Gi and Gm (2G) showed faster and higher infective abilities, while that of Gm had slower infection rates at the early stages of cassava growth. However, the infection rates of Gm remained more stable in the late stages than those of Gi and 2G. By comparison, the infective ability of Ge inoculum was poor. All the treatments including Gi, Gm and 2G showed greater growth in height than those in controlled treatment (control, CK). However, only 2G had significant difference from CK in both height growth and aboveground biomass accumulation at harvest. Differences among Gi, Gm and CK were not significant. The biomass of cassava with Ge inoculation was even lower than CK, which might reveal that Ge had a negative effect on cassava growth.

**Key words:** *Glomus intraradices*; *Glomus manihotis*; *Glomus etunicatum*; *Manihot esculenta*; mycorrhizal infection rate; growth

球囊霉属 *Glomus* 真菌可与许多植物形成丛枝菌根(arbuscular mycorrhizae, AM), 菌根可促进植物对土壤中磷、锌等营养元素的吸收<sup>[1-5]</sup>. 木薯 *Manihot*

*esculenta* 是菌根依赖性较强的植物, 具须根系, 根毛很少或无, 对土壤中水分和各种营养元素, 尤其是对磷的吸收效能低<sup>[6]</sup>. 据 Howeler 等<sup>[7]</sup>报道, 在土壤肥

收稿日期: 2004-10-27

作者简介: 黄华成(1974-), 女, 博士研究生. 通讯作者: 庄雪影(1961-), 女, 教授, 博

士; E-mail: longzh@scau.edu.cn

基金项目: 中国-欧共体合作项目 MYCHINTEC(4400-G01002)

力较差的土地上,接种菌根菌,可显著提高木薯对磷的吸收及提高薯块的产量,但不同菌种对木薯生长的促进效果有差异.我国缺乏有关木薯菌根技术及高效菌根菌种的研究资料.本项目应用3种球囊霉属真菌作为菌剂,进行木薯接种试验,探讨这些菌种对木薯生长的影响,拟为华南地区木薯菌根化技术的菌种筛选提供参考资料.

## 1 材料与方法

### 1.1 供试菌种和植物品种

试验所选用的3个丛枝菌根菌种:根内球囊霉 *G. intraradices* (Gi)、木薯球囊霉 *G. manihotis* (Gm) 和幼套球囊霉 *G. etunicatum* (Ge),均采自广东和香港天然土壤中,由香港理工大学分离,由法国农业科学院鉴定.3个菌种的孢子形态见图1-a,b,c.菌种以三叶草为宿主植物盆栽扩繁3个月后,用含有宿主植物根段、菌根真菌孢子和菌丝体的根际土壤作为菌剂.

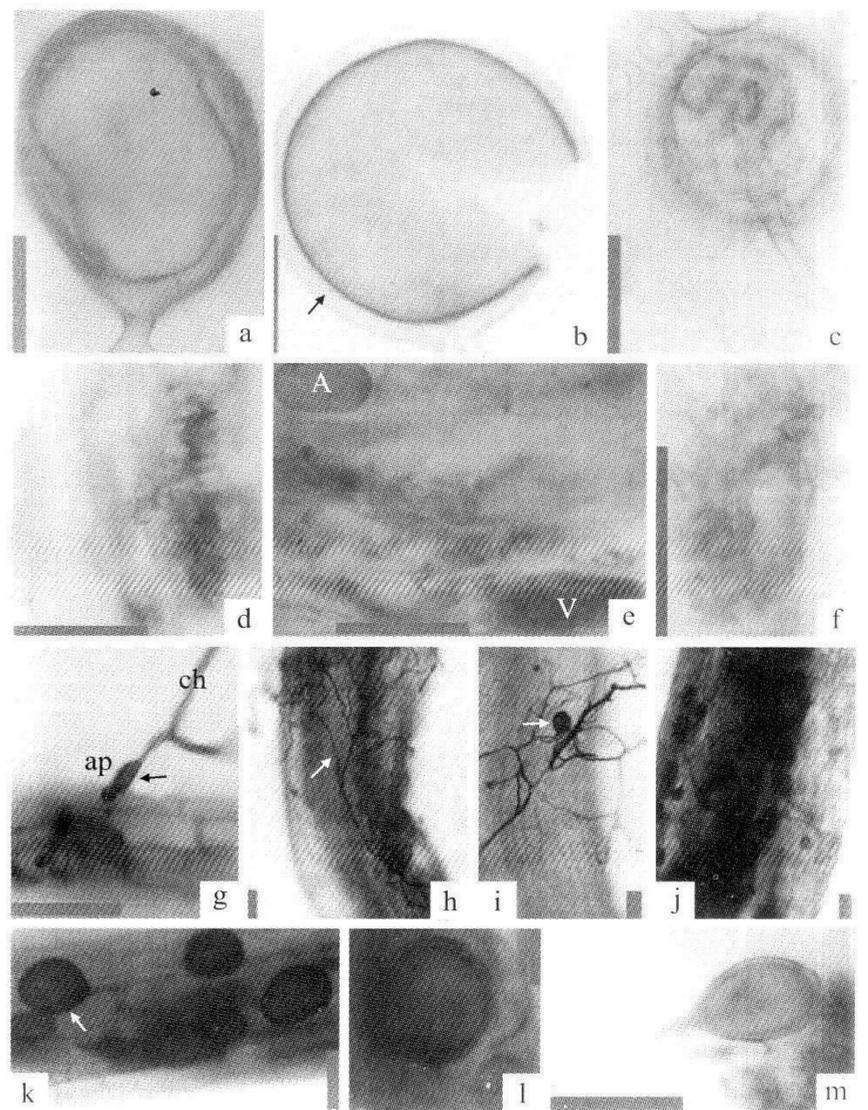
试验所应用的木薯品种是华南124.用前1年成熟的茎作扦插繁殖.选择茎秆的中下部作种茎,种茎要求新鲜、粗壮,表皮和芽完好无损.在扦插的当天或前1d,将其斜切成段,使每段有4~6个完整的芽,每段(25±5)g.

### 1.2 盆栽试验

1.2.1 盆栽土及盆栽试验设计 河沙,经甲醛溶液熏蒸消毒7d,在无甲醛气味后装盆,pH为5.6.将木薯繁殖体分别接种4组菌剂:Gm、Gi、Ge和混和菌种2G(Gm与Gi等量混匀),另设不接种为对照(CK)共5个处理.每处理苗木6株,每处理设3个重复.试验花盆按完全随机排列.

1.2.2 盆栽栽植及日常管理 盆栽试验用新塑料花盆(盆口直径31cm,盆底直径22cm,高28cm)装已灭菌沙5kg.接种处理每穴加不同菌种的接种剂100g(混合菌剂2G中,Gi与Gm各50g).对照不加接种剂.盆栽试验于2002年4月7日进行,于扦插后第6、14和30周测量株高与冠幅,共3次.盆栽木薯在室外自然条件下生长.每周每盆浇Hoagland营养液<sup>[8]</sup>(但磷浓度降低至其1/2)约500mL 2~3次,保持湿润.

1.2.3 盆栽试验材料的收获 于栽培后第6、14、22和30周,在每个木薯盆栽植株上取少量幼嫩根段放入FAA固定液( $V_{\text{甲醛}}:V_{\text{冰醋酸}}:V_{\text{纯酒精}}=13:5:100$ )中,以作菌根侵染率测定的材料;栽培至第30周收获所有植株,并将其置于70℃烘箱中烘干至恒质量,分别称其叶、茎和薯根的干质量.



a:示Gi土生孢子,400×;b:示Gm土生孢子,箭头示透明而无色的外层孢壁,400×;c:示Ge土生孢子及其萌发孔形态,400×;d:示Gi组木薯菌根的丛枝,400×;e:示Gm组木薯菌根的丛枝(A)和泡囊(V),400×;f:示Gi组木薯菌根丛枝结构,630×;g:示2G组木薯菌根的根外菌丝(eh)和菌丝膨大体(ap,箭头),400×;h:示Gm组木薯菌根外的菌丝,箭头指向附生于菌根表面的外生菌丝,100×;i:示Ge组木薯菌根根外菌丝及其孢子(箭头),100×;j:示2G组木薯菌根内生Gi孢子,100×;k:示Gi组木薯菌根内生Gi孢子(箭头),200×;l:示Gm组木薯菌根内生Gm孢子,200×;m:示2G组木薯菌根内生Gm孢子,400×.标尺为100μm.

a: a soil-borne spore of Gi, 400×; b: a soil-borne spore of Gm, arrow showed the transparent outer layer wall, 400×; c: a soil-borne spore and germination morphology of Ge, 400×; d: arbuscular structure of the mycorrhiza of Gi treatment, 400×; e: arbuscular (A) and vesicular (V) structure of the mycorrhiza of Gm treatment, 400×; f: arbuscular structure of the mycorrhiza of Gi treatment, 630×; g: external hyphae (eh) and an appressorium (ap, arrow) of Gi treatment, 400×; h: external hyphae (arrow) of Gm treatment, 100×; i: external hyphae and spores (arrow) of Ge treatment, 100×; j: internal spores of Gi in the 2G treatment, 100×; k: internal spores of Gi (arrow), 200×; l: internal spores of Gm, 200×; m: an internal spore of Gm in the 2G treatment, 400×. Bar: 100 μm.

图1 试验菌种孢子及不同处理组苗木菌根形态

Fig. 1 Spores and mycorrhizal structure of three arbuscular mycorrhizal fungi

### 1.3 根样染色与菌根感染的测定

将经FAA固定液染色的根段放在清水中漂洗干净后,剪成1cm长,用锥虫蓝染色法<sup>[9]</sup>进行根段的透明、酸化与染色处理,然后用PVLG试剂(聚乙烯醇8.33g,乳酸50mL,甘油5mL,蒸馏水50mL)作浮载液制成玻片.每个处理组检测根段30条,3个重复.

在 Leica 光学显微镜下逐一观测每条根段的菌根感染情况. 先依据侵染点、菌丝、丛枝和泡囊等菌根结构在根段中所占的比例, 将其分为 0~5 级共 6 个等级: 根段中无菌根结构为 0 级; 菌根结构在整个根段中的比例少于 1% 为 1 级; 占 2%~10% 为 2 级; 占 11%~50% 为 3 级; 占 51%~90% 为 4 级; 大于 90% 时为 5 级. 然后分别根据丛枝、泡囊在菌根结构中的有无与丰富程度将 1~5 级再划分为 A0、A1、A2 和 A3 共 4 个级别. 其中, A0 表示根段中菌根结构中没有丛枝或没有泡囊; A1 表示丛枝或泡囊较少, 约占菌根结构的 10%~50%; 丛枝或泡囊约占 51%~90% 时为 A2; 丛枝或泡囊很丰富, 多于 90% 时计为 A3. 记录每条根段的感染级别, 统计每个根样中 30 条根段在各感染级别的根段数, 将所得数据输入计算机“Mycocalc”软件<sup>[10]</sup>, 从而获得菌根感染频度 (frequency of mycorrhiza in the root system,  $F$ )、根系菌根感染强度 (intensity of the mycorrhizal colonization in the root system,  $M$ )、根系丛枝丰富度 (arbuscule abundance in the root system,  $A$ )、根系泡囊丰富度 (vesicle abundance in the root system,  $V$ ).

#### 1.4 数据分析

数据用 SPSS 软件统计 (SPSS 10.0 for windows), 以方差分析和邓肯氏新复极差检验法 (Duncan's multiple range tests, 简称 DMRT 法) 测定其显著性. 多重比较结果用标记字母法<sup>[11]</sup>表示.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同菌剂处理条件下盆栽木薯的菌根结构

所有处理组木薯根系均具有 AM 型菌根, 菌丝结构为疆南星型 (Arum-type), 即菌丝进入皮层后, 在胞间延伸, 形成有明显的主干和各级分枝的胞间菌丝, 并产生侧向分枝进入皮层细胞内, 顶端不断分枝形成丛枝状或泡囊状结构, 成熟的丛枝-泡囊结构可充满整个细胞 (图 1-d~f).

根外菌丝 (external hyphae, eh) (图 1-g、h) 于穿入表皮细胞之前, 菌丝体积增大形成明显膨大的侵入点 (appressorium, ap) (图 1-g). 待穿入细胞壁后, 菌丝恢复原大小. 接种 2G 的木薯根系上侵入点最多, 常可见到 2~3 个侵入点相邻或相对出现, 而接种 Ge 的菌根侵入点较少. 未接种者均未见到菌根结构.

Gi、Gm 和 2G 组苗木菌根可产生根内孢子 (图 1-j~m). 其中, Gm 组根内孢子表面有明显的晕圈 (图 1-l), 这一结构与土生孢子的形态相吻合 (图

1-b); Gi 组根内孢子常呈簇状出现在皮层 (图 1-k). 接种 2G 的菌根中, 既可见到 Gm 根内孢子 (图 1-m), 也有 Gi 根内孢子 (图 1-j), 但尚未发现在同一条根样上同时出现两种根内孢子的情况. 在 Ge 组菌根中均未见到根内孢子. 在第 22 周的根样检测中, 除对照组外, 所有处理组苗木菌根的外部均已见到根外孢子 (图 1-i).

### 2.2 不同菌剂处理条件下盆栽木薯菌根感染率

应用 Mycocalc AM 菌根分析软件程序, 计算不同菌剂处理木薯样株的  $F$ 、 $M$ 、 $A$ 、 $V$ , 结果如表 1 所示. 不同菌剂处理组苗木的  $F$  指标有一定的差异. Gi 和 2G 具有较高的感染能力, 在第 6 周的根样中  $F$  已达 100%, 即所有检测根样均已有 AM 菌根结构. 2G 组  $F$  在 86% 以上, 而 Gi 组木薯  $F$  与 2G 相似, 但在第 30 周有较明显的下降 (表 1). Gm 组  $F$  在第 6 周时只有 63%, 在第 14 周时达 100%, 在试验结束前仍在 90%

表 1 不同处理组盆栽木薯在接种后不同检测时间的菌根感染率指标间的差异性比较<sup>1)</sup>

Tab. 1 Comparison of arbuscular mycorrhizal infection of different treatments with the time

时间 time	菌剂 inoculum	$F$ /%	$M$ /%	$A$ /%	$V$ /%
6 周	2G	100.0a	58.5a	14.5ab	20.2a
6 weeks	Gi	100.0a	61.2a	21.8a	18.3a
	Gm	63.3b	20.9b	7.3bc	0.9b
	Ge	8.9c	0.2c	0c	0b
	CK	0c	0c	0c	0b
	14 周	2G	92.2ab	54.4a	22.2bc
14 weeks	Gi	86.7ab	46.9ab	12.0ab	12.4bc
	Gm	100.0a	72.5a	28.3a	21.1a
	Ge	55.6b	27.1b	9.6bc	6.0cd
	CK	0c	0c	0c	0d
	22 周	2G	100.0a	65.6a	14.7ab
22 weeks	Gi	100.0a	63.7a	20.4ab	5.8bc
	Gm	98.9a	72.7a	22.9a	17.7a
	Ge	26.6b	14.5b	2.2bc	3.1cd
	CK	0c	0c	0c	0d
	30 周	2G	86.7a	56.9ab	5.6b
30 weeks	Gi	66.7b	43.4ab	2.3bc	6.3ab
	Gm	93.3a	60.3a	12.2a	7.9a
	Ge	63.3b	37.8b	1.2c	8.0a
	CK	0c	0c	0c	0b

1) 相同时间的同列数据后具相同字母者表示差异不显著 ( $P \geq 0.05$ , DMRT 法);  $F$  为菌根感染频度,  $M$  为根系菌根感染强度,  $A$  为根系丛枝丰富度,  $V$  为根系泡囊丰富度

以上. 相对而言, Ge 组菌根感染较慢,  $F$  也较低, 该组菌木在第 6 周调查时  $F$  只有 9%, 第 14 周调查时约 55%, 收获时为 63%, 其感染率显著低于其他处理组(表 1).

不同处理组木薯的  $M$  也有差异(表 1). 2G 和 Gi 组在接种后 6 周时  $M$  已在 50% 以上, 试验结束前为 57% 和 43%. Gm 组苗木的感染稍慢, 其  $M$  在第 6 周调查时只有 21%, 第 14 周调查为 72%, 收获时为 60%. Ge 组感染菌根最慢, 该组苗木在 4 次调查中的  $M$  均低于其他处理组.

菌根中  $A$  和  $V$  是反映菌根活性的重要指标, 从表 1 可见, Gi 和 2G 侵染苗木的能力较强, 在接种后 6 周调查时, 这 2 组苗木的  $A$  和  $V$  均为 15% ~ 22%, 在第 14 和 22 周调查时保持在 6% ~ 22%, 但 30 周时下降到 2% ~ 8%. Gm 对苗木的侵染速度较慢, 其  $A$  和  $V$  在第 6 周时只有 7% 和 1%, 但第 14 周和 22 周时高至 18% ~ 28%, 第 30 周仍保持在 8% ~ 12%

的水平, 显著高于其他处理组(表 1). Ge 组苗木根系在第 14 周时才检测到丛枝结构, 比其他菌种出现得晚, 其  $A$  均小于 10%; 第 30 周时下降为 1.2%. 到收获时, 所有处理组菌根的  $V$  均比较接近.

### 2.3 不同菌剂对盆栽木薯高度和冠幅生长的影响

所有盆栽木薯在移植初期生长表现良好, 但第 8 周后出现黄色叶斑, 该症状在 CK 与 Ge 组尤其明显, 该症状持续了近 6 周, 至第 14 周以后, 缺磷症才消失.

接种生长试验调查结果显示, 接种后第 6 周, 所有丛枝菌根菌剂处理组木薯的株高和冠幅生长比 CK 组稍高, Gi 和 Gm 组木薯株高与 CK 组的差异达到显著水平, 2G 组的冠幅显著高于 Gm、Ge 和 CK 组(表 2). 接种后第 14 周, 除 Ge 组外, 其他处理组木薯在株高和冠幅生长上均明显高于 CK 组. 但在收获时, 只有 2G 组木薯高生长显著高于其他处理. Ge 组木薯的高生长速度与 CK 组相近.

表 2 不同菌剂对盆栽试验木薯高度和冠幅生长的影响<sup>1)</sup>

Tab.2 Height and canopy growth of the seedlings in different treatments

cm

菌剂 inoculum	接种后 6 周 6 weeks after inoculation		接种后 14 周 14 weeks after inoculation		接种后 30 周 30 weeks after inoculation	
	株高 height	冠幅 canopy width	株高 height	冠幅 canopy width	株高 height	冠幅 canopy width
	2G	28.6 ± 2.0ab	35.7 ± 1.6a	79.9 ± 3.4a	62.4 ± 1.5a	136.4 ± 7.8a
Gi	30.6 ± 2.1a	32.0 ± 2.0ab	78.9 ± 3.8a	57.8 ± 1.5ab	117.6 ± 5.8b	36.6 ± 1.8b
Gm	28.9 ± 1.2a	30.8 ± 1.1b	73.8 ± 2.4a	57.7 ± 1.1ab	114.8 ± 3.5b	37.3 ± 1.8b
Ge	26.0 ± 1.4ab	28.7 ± 1.2b	59.3 ± 2.5b	55.6 ± 2.3bc	112.4 ± 3.5b	39.5 ± 2.4ab
CK	23.8 ± 1.2b	27.6 ± 1.7b	59.1 ± 3.2b	51.0 ± 2.5c	112.2 ± 4.4b	38.2 ± 1.6 ab

1) 同列数据后具相同字母者表示差异不显著( $P \geq 0.05$ , DMRT 法)

### 2.4 不同菌剂对木薯生物量的影响

不同菌剂处理组木薯生物量生长比较如表 3 所示. 2G 组木薯的茎、薯根和总生物量显著高于 CK

组, 而其他处理组木薯与 CK 组的差异不显著. Ge 组木薯的叶部和根部生物量稍低于 CK 组.

表 3 不同菌剂处理组木薯在收获时的平均生物量比较<sup>1)</sup>

Tab.3 Comparison of the average biomass of the seedlings in different treatments at harvest

$g \cdot \text{株}^{-1}$

菌剂 inoculum	叶 leaves	茎 stems	薯根 tubers and roots	总生物量 total biomass
2G	5.59 ± 0.46a	21.1 ± 1.62a	5.6 ± 0.70a	32.3 ± 2.17a
Gi	5.16 ± 0.54a	19.2 ± 1.41ab	3.7 ± 0.76ab	28.0 ± 2.04ab
Gm	5.27 ± 0.40a	15.7 ± 0.72b	3.6 ± 0.64ab	24.5 ± 1.31b
Ge	4.40 ± 0.44a	16.4 ± 0.88ab	3.0 ± 0.35b	23.8 ± 0.97b
CK	4.42 ± 0.41a	14.6 ± 2.26b	3.3 ± 0.98b	22.4 ± 2.69b

1) 同列数据后具相同字母者表示差异不显著( $P \geq 0.05$ , DMRT 法)

## 3 讨论与结论

### 3.1 几个菌种对木薯根系的侵染能力

木薯根系营养根稀疏, 根毛少, 是比较典型的菌根依赖性的热带作物<sup>[7,12]</sup>. 本试验结果显示 Gi、Gm、

Ge 皆可在木薯根内形成泡囊和丛枝结构. 但不同的菌种和接种方法, 对木薯菌根的形成时间有一定的影响. 盆栽试验结果显示, 在无其他菌根菌影响的条件下, 2G 和 Gi 菌剂对木薯根系的侵染能力比较强, 这 2 个处理组木薯根系的  $F$  在第 6 周时达 100%,  $M$

和A也比较高. Gm菌剂对木薯的侵染速度比前2种菌剂稍慢,但该菌种M和A保持较高且比较稳定,显示该菌种在木薯菌根中的亲和力强. 但Ge对木薯根系的侵染能力和亲和力较差.

### 3.2 木薯菌根及其结构特点

木薯菌根中菌丝结构为疆南星型. Gi和Gm这2个菌种都具有能在寄主植物根内形成根内孢子的特征<sup>[13]</sup>. 笔者也分别在接种了这2个菌种的处理组木薯根样中见到了其根内孢子,并可据根内孢子的形态,将它们识别出来. 在接种2G组木薯的根内也可看到Gi或Gm的根内孢子,但尚未见到在同一条根段内同时生长这2种根内孢子的情况. 这可能反映了在2种或多种AM菌种同时存在的时候,菌种之间存在侵染竞争和侵染优势.

### 3.3 几种菌剂对木薯生长的影响

优良菌种的筛选及其菌根对植物生长影响的研究是当前菌根生态学研究 and 菌根技术应用研究的热点. 许多研究显示:菌根可以促进植物的生长,但并不是所有可与植物形成菌根的真菌都对植物生长有利<sup>[5]</sup>;有些菌根菌还会产生寄生性(parasitism)或欺生性(cheating)而抑制宿主植物生长<sup>[14]</sup>,这种寄生性或欺生性的出现通常与某个生长阶段、环境和遗传性等因素有关<sup>[15]</sup>,如一些植物在接种菌根菌初期通常会出现生长不良的现象,但这种抑制作用在一段时间后会逐渐消失. 本研究中所有接种组苗木均有较高的感染频度,但在第6周时,只有Gm处理组的感染频度与木薯生长呈正相关,即感染频度较高的处理组,生长也较快;而另外2个处理组的苗木虽具有较高的感染频度,但生长反而慢,这可能说明这些菌根在侵入木薯根系初期,真菌与宿主植物间未形成互利作用,真菌主要是消耗宿主植物碳源,未能为植物提供有机养分,即呈寄生性或欺生性,因此对木薯生长并无贡献,或甚至抑制了木薯的生长. 由此可见,只有选用适宜的AM菌种,才可发挥菌根技术的优势.

### 3.4 单菌接种与混合接种的问题

本试验的另一个比较明显的现象是混合菌剂处理组木薯通常长势较好,即混合菌剂在侵染能力和对生长促进作用方面都显示比单菌种效果更好,反映了多菌种间虽然存在着竞争,但也可产生互补功能. 因此,在实践中应尽量应用混合菌剂,但有关混合菌剂的有效作用机理还需要作进一步的研究.

#### 参考文献:

[1] 赵忠,王真辉,刘西平. 土壤水分条件对毛白杨菌根接种苗生长及营养生理效应的影响[J]. 西北林学院

学报,2000,15(2): 1-6.

- [2] 姚青,李晓林,冯固. 不同作物对VA菌根真菌依赖性差异[J]. 作物学报,2000,26(6): 874-878.
- [3] 戴振洋,陈俊位,蔡宜峰. 丛枝菌根在茄子幼苗上的作用[J]. 中国园艺,2001,47(2): 165-174.
- [4] ORTAS I. Effect of selected mycorrhizal inoculation phosphorus sustainability in sterile and non-sterile soils in the Harran Plain in South Anatolia[J]. Journal of Plant Nutrition,2003,26: 1-17.
- [5] RYAN M H, GRAHAM J H. Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? [J]. Plant and Soil, 2002, 244: 263-271.
- [6] 黄洁. 木薯营养要求和施肥[J]. 热带农业科学,1999,(1): 80-87.
- [7] HOWELER R H, CADAVID L F, BURCKHARDT E. Response of cassava to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in greenhouse and field experiments[J]. Plant and Soil, 1982, 69: 327-329.
- [8] 刘润进,李晓林. 丛枝菌根及其应用[M]. 北京:科学出版社,2000. 70-71.
- [9] KOSKE R E, GEMMA J N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas[J]. Mycorrhizal Research, 1989,92: 486-505.
- [10] TROUVELOT A, KOUGH J L, GIANINAZZI-PEARSON V. Measure du taux de mycorrhization VA d'un systeme radicaire—Recherche de methodes destination ayant une signification fonctionnelle[A]. GIANINAZZI-PEARSON V, GIANINAZZI S. Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae[C]. Paris: INRA Press, 1986. 217-221.
- [11] 苏金明,傅荣华,周建斌,等. 统计软件SPSS for Windows实用指南[M]. 北京:电子工业出版社,2000. 401-407.
- [12] HOWELER R H, SIEVERDING E. Potentials and limitations of mycorrhizal inoculation illustrated by experiments with field grown cassava[J]. Plant and Soil, 1983,75: 245-261.
- [13] 吴铁航,郝文英,林先贵,等. 红壤中VA菌根真菌(球囊霉目)的种类和生态分布[J]. 真菌学报,1995,14(2): 81-85.
- [14] JOHNSON N C, GRAHAM J H, SMITH F A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum[J]. New Phytologist, 1997,135: 575-585.
- [15] SMITH F A, SMITH S E. Mutualism and parasitism: Diversity in function and structure in the "Arbuscular" (VA) mycorrhizal symbiosis[J]. Advances in Botany, 1996,22: 1-43.

【责任编辑 李晓卉】