

意大利黑麦草菌根际效应研究*

辛国荣, 孙 斌, 黎国喜, 吴 瑾, 杨宇洁, 王宇涛, 杨中艺

(中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室//中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275)

摘 要: 研究了水田冬种意大利黑麦草 AM 形成的规律、稻田中 AMF 密度变化以及土壤因子对意大利黑麦草 AM 形成的影响, 进而探讨 AM 对意大利黑麦草生长和发育的影响。结果表明: ①翻耕不施肥、不翻耕施肥和不翻耕不施肥处理的意大利黑麦草总感染率上升幅度均达到了显著水平 ($p < 0.05$); ②土壤中 AMF 孢子密度随着意大利黑麦草生长时间的增加而增加, 与感染率的增长趋势基本保持一致, 且二者之间相关性达到极显著正相关 ($p < 0.01$); ③意大利黑麦草根系 AM 的感染率与土壤 pH 值极显著正相关 ($p < 0.01$), 与土壤温度显著正相关 ($p < 0.05$), 与土壤含水量极显著负相关 ($p < 0.01$), 与水解 N 质量分数显著负相关 ($p < 0.05$)。土壤中 AMF 孢子密度与土壤温度极显著正相关 ($p < 0.01$), 与 pH 显著正相关 ($p < 0.05$), 与土壤有机质质量分数、水解 N 质量分数、全 P 质量分数和速效 P 质量分数显著负相关的 ($p < 0.05$); ④意大利黑麦草产量与 AM 感染率 ($p > 0.05$) 和 AMF 孢子密度 ($p < 0.05$) 均呈负相关。

关键词: 意大利黑麦草 (*Lolium multiflorum* L.); 丛枝菌根真菌; 感染率; 孢子密度; 菌根际效应; 生理生态

中图分类号: S344.16 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 03-0079-06

丛枝菌根 (Arbuscular Mycorrhiza, AM) 是植物根系与真菌之间形成的共生体, 菌根菌丝就像根的根一样, 将根际延伸到周围更广泛的土壤当中^[1]。菌根组织能够改变矿质营养的成分、激素平衡、C 的分配形式以及植物生理的调节, 菌根植物根分泌物化学成分的改变等, 在数量上和质量上都影响根际中的微生物群体, 形成所谓的菌根际 (Mycorrhizosphere)^[2]。通过对意大利黑麦草根际效应的研究, 发现冬种意大利黑麦草增加了土壤的有机质, 增加了土壤肥力; 同时土壤养分的有效性和土壤生物活性得到增强^[3-5]。Mayumi 等^[6]从栽培意大利黑麦草的地方取得的土壤上种植黄瓜 (*Cucumis sativus*), 发现前作是意大利黑麦草的土壤中生长的黄瓜 AM 侵染率高达 66%, 可见前作意大利黑麦草的生长对土壤菌根真菌生物多样性有积极的作用。这些研究结果表明了意大利黑麦草菌根感染对改善土壤养分和提高后作物产量方面具有一定的作用。但在“意大利黑麦草-水稻”草田轮作系统研究中尚未涉及意大利黑麦草菌根际效应问题。本文通过大田种植意大利黑麦草, 研究 AM 真菌侵染特性、根际土壤 AM 真菌孢子密度及其与土壤理化性质、耕作方式的相关性, 探索意大利黑麦草菌根及其生理生态效应。

1 试验设计

1.1 试验地概况

试验地位于广东省广州市华南农业大学农场 (N 23°10.126', E 113°21.717'), 土壤类型属南亚热带赤红壤。土壤有机质质量分数 2.27%、全氮质量分数 0.087 4%、水解 N 14.27 mg/100 g、速效 P 126.55 mg/kg。

1.2 试验材料

供试草种为意大利黑麦草 (*Lolium multiflorum* L. cv. Tetragold, Italian ryegrass 简称 IRG), 由百绿 (天津) 国际草业有限公司提供, 发芽率为 94.33%; 基肥采用罗马尼亚复合肥 (N:P:K = 15:15:15)。

1.3 大田试验设计

大田试验设置 6 组试验处理, 每组处理 3 次重复, 共 18 个小区。小区面积为 2 m × 3 m, 小区之间的间距为 0.4 m, 小区两侧有 0.5 m 的保护行。试验处理如下: (A) 翻耕, 施基肥, 种植意大利黑麦草; (B) 翻耕, 不施基肥, 种植意大利黑麦草; (C) 翻耕, 不施基肥, 不种植意大利黑麦草; (D) 不翻耕, 施基肥, 种植意大利黑麦草; (E) 不翻耕, 不施基肥, 种植意大利黑麦草; (F) 不

* 收稿日期: 2007-10-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30571320, 30640050); 广东省自然科学基金资助项目 (07003648); 广东省农业攻关资助项目 (2004B20801016)

作者简介: 辛国荣 (1968 年生), 男, 副教授; 通讯联系人: 杨中艺; E-mail: lssxgr@mail.sysu.edu.cn

翻耕, 不施基肥, 不种植意大利黑麦草。

翻耕处理在种植意大利黑麦草前 5 d 进行精细翻耕。翻耕结束后将复合肥均匀撒到施肥处理的小区作为基肥, 施肥量为 750 kg/hm^2 , 播种量为 22.5 kg/hm^2 [7], 撒播, 种子先用自来水浸泡 8 h, 播种时与一定量的细沙土均匀混合, 均匀播在试验小区。2005 年 11 月 15 日播种。播种后立即浇水并盖上适量的水稻秸秆以减少水分的蒸发。

1.4 采样与分析方法

本试验历时 92 d, 其间取样 4 次, 取样时间分别在播种后 23、46、69、92 d。取样在当天 10:00–15:00 进行。采用环形取样方法, 取样器直径为 10 cm, 深度为 10 cm 的圆柱体。每个小区取 5 个点。每个位置所取得的土样和意大利黑麦草根系分别进行混合, 采用四分法取得足够量的样本。所采集的根样洗净用于染色 [8], 观察丛枝菌根的感染率 [9]。一部分用于湿筛法获取孢子, 并计算孢子密度 [10]。部分土壤测定土壤含水量、土壤 pH、土壤有机质、土壤全 N、土壤水解 N、土壤全 P、土壤速效 P [11]。试验期间采用 KWC1310 型便携式温度计测量取样当天 12:00–13:00 的土壤温度。

1.5 数据处理与分析

结果取重复数的平均值, 先在 Excel 中做初步

分析与处理, 再用 SPSS10.0 进行方差分析 (ANOVA) 和平均数差异显著性分析 (LSD 检验, $p < 0.05$) 及相关性分析 (Pearson Correlation, Sig. 2-tailed), 用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理下意大利黑麦草 AM 感染率变化

大田试验中, 四组种草处理的意大利黑麦草根系中都存在 AM 感染。由表 1 可以看出, 各处理的意大利黑麦草 AM 总感染率整体上都随时间的推移呈逐渐上升的趋势。

在处理 A 中, AM 总感染率由第 23 d 取样时的 3.83% 上升到第 92 天取样时的 13.50%, 但上升幅度没有达到显著 ($p > 0.05$); 在处理 B 中, AM 总感染率由 3.17% 上升为 10.17%, 第 69 天 AM 总感染率显著高于第 23 天和第 46 天 ($p < 0.05$), 到第 92 天时, AM 总感染率上升达极显著 ($p < 0.01$); 在处理 D 中, AM 总感染率由 2.50% 为 13.67%, 两次取样间差异显著 ($p < 0.05$); 在处理 E 中则由 4.17% 上升为 26.33%, 在第 69、92 天时, AM 总感染率达到极显著 ($p < 0.01$)。

表 1 大田试验意大利黑麦草的 AM 总感染率

Tab. 1 AM total colonization of IRG in the field experiments (mean $\pm$ SD, $n=3$)

试验处理	取样时间			
	第 23 天	第 46 天	第 69 天	第 92 天
A 翻耕施肥种草	$3.83 \pm 0.38\text{aA}$	$9.50 \pm 5.20\text{aA}$	$10.33 \pm 3.97\text{aA}$	$13.50 \pm 2.88\text{bA}$
B 翻耕不施肥种草	$3.17 \pm 0.52\text{aB}$	$3.17 \pm 0.52\text{aB}$	$9.17 \pm 1.70\text{aA}$	$10.17 \pm 1.42\text{bA}$
D 不翻耕施肥种草	$2.50 \pm 0.66\text{aB}$	$2.17 \pm 1.04\text{aB}$	$8.00 \pm 1.30\text{aAB}$	$13.67 \pm 3.63\text{bA}$
E 不翻耕不施肥种草	$4.17 \pm 1.88\text{aC}$	$1.83 \pm 1.59\text{aC}$	$12.33 \pm 2.47\text{aB}$	$26.33 \pm 1.15\text{aA}$

注: 同列数据中不同小写和大写字母分别表示差异显著 ($p < 0.05$) 和极显著 ($p < 0.01$), 下同

在同一取样时间, 不同处理之间的 AM 总感染率在前 3 次取样都不存在差异显著性 ($p > 0.05$), 在第 92 天取样时, 处理 E 的 AM 总感染率显著高于处理 A 和 D ($p < 0.05$), 极显著高于处理 B ($p < 0.01$)。

2.2 不同处理下黑麦草根际土壤 AMF 孢子密度变化

大田试验处理 A 的土壤中 AMF 孢子密度呈下降趋势, 处理 B 和处理 C 基本上保持稳定, D、E 和 F 的土壤中 AMF 孢子密度呈上升趋势 (表 2)。处理 A 土壤中 AMF 孢子密度在前 3 次取样过程中不存在显著变化 ($p > 0.05$), 在第 69 至第 92 天期间明显下降 ($p < 0.01$)。而在处理 D、E 和 F 土壤

中 AMF 孢子密度在前 3 次取样过程中均无显著变化 ($p > 0.05$), 在第 69 至第 92 天期间明显上升 ($p < 0.01$)。此外, 处理 B 和 C 土壤中的孢子密度在本试验中随时间变化不存在显著性差异 ($p > 0.05$)。

不同处理土壤中 AMF 孢子密度, 在第 23 天时, 处理 B 土壤中 AMF 孢子密度最大, 为 223.3 个/100 g 土, 显著高于处理 A、E、F ($p < 0.05$); 孢子密度最低的是处理 F, 仅为 59.0 个/100 g 土。到第 46 和第 69 天时, 各处理土壤中 AMF 孢子密度不存在差异显著性 ($p > 0.05$)。但到第 92 天时, 处理 E 土壤中 AMF 孢子密度增加至最大, 达

到 493.1 个/100g 土, 极显著高于处理 A、B、C 处理 B ($p < 0.01$) (表 2)。
($p < 0.01$), 其次为处理 F, 极显著高于处理 A 和

表 2 大田试验土壤中的 AMF 总孢子数

Tab. 2 Total spore density of AMF in the soil of the field experiments (mean $\pm$ SD, $n = 3$)

试验处理	取样时间			
	第 23 天	第 46 天	第 69 天	第 92 天
A 翻耕施肥种草	80.2 $\pm$ 15.87bB	86.4 $\pm$ 6.15aA	136.3 $\pm$ 13.43aA	52.3 $\pm$ 16.98cB
B 翻耕不施肥种草	223.3 $\pm$ 95.78aA	160.0 $\pm$ 47.88aA	160.9 $\pm$ 32.70aA	153.5 $\pm$ 46.72bcA
C 翻耕不施肥不种草	141.1 $\pm$ 6.29abA	138.6 $\pm$ 34.54aA	155.1 $\pm$ 13.24aA	196.6 $\pm$ 31.40cA
D 不翻耕施肥种草	95.9 $\pm$ 5.47abB	120.7 $\pm$ 38.96aB	142.1 $\pm$ 14.68aB	317.8 $\pm$ 15.93abA
E 不翻耕不施肥种草	73.6 $\pm$ 7.73bB	99.6 $\pm$ 25.65aB	210.6 $\pm$ 55.36aB	493.1 $\pm$ 101.78aA
F 不翻耕不施肥不种草	59.0 $\pm$ 10.37bB	186.2 $\pm$ 21.38aB	130.1 $\pm$ 12.78aB	435.0 $\pm$ 70.39aA

2.3 意大利黑麦草 AM 感染率与孢子密度、土壤含水量及养分之间的关系

相关分析结果显示: 总感染率与孢子密度、菌丝感染率和土壤 pH 值呈极显著正相关 ($p <$

0.01); 与丛枝感染率和土壤温度呈显著正相关 ($p < 0.05$); 与土壤含水量极显著负相关 ($p < 0.01$); 与水解 N 质量分数显著负相关 ($p < 0.05$) (表 3)。

表 3 孢子密度, 总感染率, 菌丝感染率, 丛枝感染率与土壤含水量及养分之间的相关系数

Tab. 3 Correlations between total spore density, total colonization, hyphal colonization, arbuscular colonization, soil moisture and other nutrients each other (Pearson Correlation, Sig. 2-tailed, $n = 48$)

项目	TSD	TC	SM	ST	pH	OM	TN	SN	TP
TC	0.534**								
SM	-0.064	-0.449**							
ST	0.310*	0.315*	-0.272						
pH	0.270	0.465**	-0.609**	0.111					
OM	-0.160	-0.277	-0.006	-0.588**	0.036				
TN	0.017	-0.023	0.186	-0.671	0.035	0.528**			
SN	-0.181	-0.350**	0.028	-0.014	-0.056	0.178	0.069		
TP	-0.250	-0.201	-0.101	-0.169	0.138	0.376**	0.185	0.332*	
AP	-0.259	-0.226	-0.078	-0.179	0.116	0.170	0.235	0.233	0.416**

注: * 表示显著相关 ($p < 0.05$); ** 表示极显著相关 ($p < 0.01$), TSD 表示孢子密度 (个/100g 土), TC 表示总感染率 (%), HC 表示菌丝感染率 (%), AC 表示丛枝感染率 (%), SM 表示土壤含水量 (%), ST 表示土壤温度 (°C), OM 表示有机质质量分数 (%), TN 表示全 N 质量分数 (%), SN 表示水解 N 质量分数 (mg/100 g), TP 表示全 P 质量分数 (g/kg), AP 表示速效 P 质量分数 (mg/kg)。下同

2.4 AMF 孢子密度与土壤理化性状之间的关系

相关分析结果表明, 土壤中的 AMF 孢子密度与土壤温度极显著正相关 ($p < 0.01$); 与 pH 值显著正相关 ($p < 0.05$); 与有机质质量分数、水解 N 质量分数、全 P 质量分数和速效 P 质量分数都显著负相关 ($p < 0.05$); 与土壤含水量和全 N 质量分数都是负相关, 但相关性都没有达到显著 ($p > 0.05$) (表 4)。

3 讨 论

3.1 不同处理对意大利黑麦草 AM 感染率的影响

在大田试验中, 四组种草处理 (处理 A、处理 B、处理 D 和处理 E) 的意大利黑麦草根系均存在 AM 的感染, 但感染率较低, 特别是前期意大利黑麦草根系 AM 感染率更低, 这可能与 AMF 孢子萌发到形成菌丝感染意大利黑麦草需要一定的时间过

表 4 大田试验中土壤中 AMF 孢子密度与土壤含水量、土壤温度及其他养分之间的相关性

Tab. 4 Correlations between AMF total spore density and soil moisture, soil temperature and other nutrients
(Pearson Correlation, Sig. 2-tailed, $n = 48$)

比较对象	相关系数	比较对象	相关系数
SM(%)	-0.173	TN(%)	-0.076
ST(°C)	0.418 * *	SN(mg/100g)	-0.252 *
pH 值	0.300 *	TP(g/kg)	-0.234 *
OM(%)	-0.242 *	AP(mg/kg)	-0.242 *

注:土壤中的 AMF 孢子密度以 100g 土计

程有关。任萌圃等^[12]研究 7 种不同的丛枝菌根真菌对金叶连翘组培苗生长的影响时,发现不同的菌种对金叶连翘感染的响应时间不完全相同。在 60 d 检测时,金叶连翘的 AM 感染率达到峰值,随后有所下降,并趋于稳定。本试验由于是在冬闲期种植意大利黑麦草,恰好为土壤中存在 AMF 提供了生存和繁殖的机会,但试验地常年耕作,施肥量较大,因而土壤养分质量分数较高,这可能也是大田试验意大利黑麦草在前期感染率相对较低的原因之一。一方面,可能由于供试土壤本身所含有的养分足以满足意大利黑麦草生长的需要;另一方面,很可能由于长期对土壤进行高强度高施肥耕作的影响,土壤本身的接种势不高;还有作为宿主植物的意大利黑麦草,本身根系就比较发达,根毛的数量也很丰富,庞大的根系网络足以满足意大利黑麦草生长的需要,也不需要增加感染来提高意大利黑麦草对土壤养分的吸收和利用。

意大利黑麦草生长了 3 个月后,各处理意大利黑麦草 AM 感染率都有较大幅度的提高,且不翻耕不施肥处理的感染率显著高于同一时期的翻耕施肥处理和不翻耕施肥处理,极显著高于翻耕不施肥处理。这充分说明,不同的耕作方式和不同的施肥水平,对 AMF 感染意大利黑麦草有很大的影响。施肥显然不利于 AMF 对意大利黑麦草的感染,这与许多其他植物的研究结果是相一致的^[13]。同时,在翻耕条件下,机械作用力破坏了土壤中原有的 AMF 结构,如菌丝的断裂、孢子的损伤等,使得 AMF 自身需要进行一段长时间的自我恢复,才能对宿主植物造成感染。

3.2 土壤理化性状对意大利黑麦草 AM 的影响

相关分析结果表明土壤含水量越低,意大利黑麦草根系中的 AM 感染率就越高。广东地区冬季较干旱,加上意大利黑麦草生长吸收和蒸腾作用等,导致土壤含水量随之不断减少。这也可能是后期菌根感染上升的原因之一。大多数 AM 真菌都有其生长发育的最适温度范围,一般在 25 ~ 35 °C 的孢子萌发

速度和感染率要高于低温(15 °C)^[14]。大田种植意大利黑麦草期间,土壤温度保持在 15 ~ 21 °C 左右,是广州一年当中属于偏低的季节,有利于孢子的保存而不利孢子的萌发和感染。通过试验发现,AM 感染率与土壤温度呈显著正相关($p < 0.05$)。这与 Mohammad 等^[15]观察到的结果相一致。

董昌金等^[16]研究了培养基的 pH 值对孢子萌发的影响,发现 *G. etunicatum*、*G. constrictum* 和 *G. mosseae* 在 pH 6.5 的培养基中萌发最高。这说明在弱酸环境下,有利于 AMF 孢子的萌发,因此也有利于 AM 感染,导致更高的感染率。供试土壤 pH 值均在 7 以下,呈弱酸性,因而体现出 AM 感染率与 pH 值呈极显著正相关。目前虽尚不能评价 pH 值升高和 AM 感染增加之间的因果关系,但酸性土壤中 AMF 的感染可使土壤 pH 值升高,并有利于宿主植物对 P 的吸收这一事实是早已得到证实的^[17]。

大田土壤有机质质量分数、全 N 质量分数、全 P 质量分数和速效 P 质量分数与 AMF 的感染率之间未见显著的相关($p > 0.05$),Hayman 也认为 AM 真菌的侵染与土壤肥力之间的相关性小或无相关性^[18],这与本研究的结果是一致的。本试验还发现,土壤养分条件在大多数情况下与 AMF 感染率和 AMF 孢子数量均呈负相关(尽管不显著),在一定程度上说明土壤养分过高不利于 AMF 感染意大利黑麦草,不利于 AMF 自身生命周期的完成。我们的结果与 Wallander^[19]的结果一致。但与贺学礼等^[20]研究不一致的,可能与试验地其他条件有关,尚需更进一步研究。另外,供试土壤中速效 P 质量分数达到极高的水平,这可能是直接导致本试验中意大利黑麦草 AM 感染率较低的主要原因之一。

参考文献:

- [1] JONER E J, LEYVAL C. Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissemination in two industrial soils and impact of arbuscular mycorrhiza [J]. Environ Sci Technol, 2003, 37: 2371 - 2375.
- [2] BAREA J M. Rhizosphere and mycorrhiza of field crops.

- BIOLOGICAL RESOURCE MANAGEMENT: CONNECTING SCIENCE AND POLICY. 2000: 81-92.
- [3] 杨中艺, 潘静澜. “黑麦草-水稻”草田轮作系统的研究 2. 意大利黑麦草引进品种在南亚热带地区免耕栽培条件下的生产能力[J]. 草业学报, 1995a, 4(4): 46-51.
- YANG Zhongyi, PAN Jinglan. Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*)-rice (*Oriza sativa*) rotation (IRR) system II. Productivity of introduced Italian ryegrass varieties under no-tillage cultivation in the southern subtropics of China[J]. Acta Pratacultural Science, 1995a, 4(4): 46-51.
- [4] 杨中艺, 潘哲祥. “黑麦草-水稻”草田轮作系统的研究 3. 意大利黑麦草引进品种在南亚热带地区集约栽培条件下的生产能力[J]. 草业学报, 1995b, 4(4): 52-57.
- YANG Zhongyi, PAN Zhexiang. A study of an Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*)-rice (*Oriza sativa*) rotation (IRR) system III. Productivity of introduced varieties of Italian ryegrass when seeded into late rice population in the southern subtropics of China[J]. Acta Pratacultural Science, 1995b, 4(4): 52-57.
- [5] 辛国荣, 李雪梅, 杨中艺. “黑麦草-水稻”草田轮作系统的根际效应. IV 意大利黑麦草根际土壤性状及其对水稻幼苗生长的影响[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(1): 9-13.
- XIN Guorong; LI Xuemei; YANG Zhongyi. Rhizosphere effects in “ryegrass-rice” rotation system IV. Properties of rhizosphere soil of Italian ryegrass and its effects on growth of rice seedling[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2004, 43(1): 9-13.
- [6] MAYUMI KUBOTA, MITSURO HYAKUMACHI. Morphology and colonization preference of arbuscular mycorrhizal fungi in *Clethra barbinervis*, *Cucumis sativus*, and *Lycopersicon esculentum* [J]. Mycoscience, 2004, 45: 206-213.
- [7] 辛国荣, 杨中艺, 徐亚幸, 等. “黑麦草-水稻”草田轮作系统的研究 V. 稻田冬种意大利黑麦草的优质高产栽培技术[J]. 草业学报, 2000, 9(2): 17-23.
- XIN Guorong, YANG Zhongyi, XU Yaxing. Cultivation technology for high yield and quality ryegrass fodder in a ryegrass rice rotation system[J]. Acta Pratacultural Science, 2000, 9(2): 17-23.
- [8] PHILLIPS J M, HAPMANN D S. Improved procedures for cleaning and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection [J]. Transactions of the British Mycological Society, 1970, 55: 158-160.
- [9] GIOVANNETTI M, MOSSE B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular infection in roots[J]. New Phytologist, 1980, 84: 489-500.
- [10] GERDEMANN J W, NICOLSON T H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted by wet sieving and decanting[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1963, 46: 235-244.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [12] 任萌圃, 黎青, 王幼珊, 等. 几种丛枝菌根真菌对金叶连翘组培苗生长的影响[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(6): 66-70.
- REN Mengpu, LI Qing, WANG Youshan, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth of micropropagated forsythia koreana ‘Sauon Gold’ shoot[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2004, 26(6): 66-70.
- [13] 冯海艳, 冯固, 王敬国, 等. 植物磷营养状况对丛枝菌根真菌生长及代谢活性的调控[J]. 菌物系统, 2003, 22(4): 589-598.
- FENG Haiyan, FENG Gu, WANG Jingguo, et al. Regulation of p status in host plant on alkaline phosphatase (alp) activity in intraradical hyphae and development of extraradical hyphae of AM fungi [J]. Mycosystema, 2003, 22(4): 589-598.
- [14] 李晓林, 冯固. 丛枝菌根生态生理[M]. 北京: 华文出版社, 2001: 1-358.
- [15] MOHAMMAD M J, PAN W L, KENNEDY A C. Seasonal mycorrhizal colonization of winter wheat and its effect on wheat growth under dry land field conditions [J]. Mycorrhiza, 1998, 8: 139-144.
- [16] 董昌金, 赵斌. 影响丛枝菌根真菌孢子萌发的几种因素研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 489-494.
- DONG Changjin, ZHAO Bin, Effect of several factors on germination of AM fungal spores[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2003, 9(4): 489-494.
- [17] 马琼, 黄建国. 菌根及其在植物吸收矿质元素营养中的作用[J]. 吉林农业科学, 2003, 28(2): 41-43.
- MA Qiong, HUANG Jianguo. Mycorrhizae and their effects on mineral nutrients of plants[J]. Jilin Agricultural Sciences, 2003, 28(2): 41-43.
- [18] HAYMAN D S. The influence of phosphate and crop species on endogene spore and VA mycorrhiza under field conditions[J]. Plant and Soil, 1975, 43: 489-495.
- [19] WALLANDER H. Nitrogen nutrition and mycorrhiza development[J]. Development Agriculture Manage Forest Ecology, 1991, 24: 340-343.
- [20] 贺学礼, YO SEF STEINBERGER. 丛枝霸王 (*Zygo-phylum dumosum*) 根际 AM 生态学研究[J]. 西北植物学报, 2001, 21(6): 1070-1077.
- HE Xueli, YOSEF STEINBERGER. Ecological research of arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizos-

per of *Zygophyllum dumosum* in the desert ecosystem
[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2001,

21 (6): 1070 - 1077.

Research on Mycorrhizosphere Effect of Italian Ryegrass

XIN Guo-rong, SUN Bin, LI Guo-xi, WU Jin, YANG Yu-jie, WANG Yu-tao, YANG Zhong-yi

(State Key Laboratory of Biocontrol//School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on field experiment, we studied the formation of Italian ryegrass AM and the changes of AMF spores quantity, investigated the effects of edaphic factors (moisture, pH, soil temperature, soil nutrients, etc.) on the formation of Italian ryegrass AMF. Then, we discussed the effects of AMF on the growth and development of Italian ryegrass. The results showed that: ① Compared with the control group, the total AMF colonization rates of Italian ryegrass root system increased significantly at 0.05 level under three different treatments (ploughing but no fertilizing, fertilizing but no ploughing, no ploughing and fertilizing). ② In the present study, the main colonization form of AMF in Italian ryegrass root system is mycelium, the colonization form of arbuscular is little, and the vesicle structure was not found. The number of soil AMF spores increased with the increase of the growth time of Italian ryegrass, and it kept a uptrend similar to the colonization rates. The correlation between them is positively significant ($p < 0.01$). ③ The colonization rates of Italian ryegrass root system had significantly positive correlations with the soil pH value ($p < 0.01$) and soil temperature ($p < 0.05$), while it had significantly negative correlations with the soil moisture ($p < 0.01$) and soluble nitrogen ($p < 0.05$). The number of soil AMF spores had significantly positive correlations with soil temperature ($p < 0.01$) and pH value ($p < 0.05$) while it had significantly negative correlations with soil organic matter, soluble nitrogen, total phosphorus and available phosphorus ($p < 0.05$). ④ The output of Italian ryegrass had negative correlations with the AMF colonization rates ($p > 0.05$) and the numbers of AMF spores ($p < 0.05$).

Key words: Italian ryegrass (*Lolium mutiflorum* L.); Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF); colonization rates; spores density; mycorrhizosphere effect; physiology and ecology