

文章编号: 1674-7054(2023)02-0167-06



不同丛枝菌根真菌对甜玉米幼苗生长及氮磷吸收的影响

吴晓君, 李正飞, 郭佩佩, 张 丽

(海南大学 热带作物学院, 海口 570228)

摘要: 为了探究不同丛枝菌根真菌对甜玉米(*Zea mays* var. *rugose* Bonaf.)生长及氮磷吸收的影响, 筛选出促进甜玉米生长和氮磷吸收的优良菌种, 采用盆栽培养方法, 以甜玉米(*Zea mays* var. *rugose* Bonaf.)为宿主植物, 研究接种摩西斗管囊霉(*Funneliformis mosseae*, Fm)、球状巨孢囊霉(*Gigaspora margarita*, Gm)、细凹无梗囊霉(*Acaulospora scrobiculata*, As)、扭形伞房球囊霉(*Corymbiglomus tortuosum*, Ct)、地表多样孢囊霉(*Diversispora epigaea*, De)和根内根孢囊霉(*Rhizophagus intraradices*, Ri)对甜玉米生长及氮磷吸收的影响。结果表明: 接种 De 处理的甜玉米株高、根长、地上部鲜质量、地上部生物量和磷积累量最高, 并显著高于其他处理, 其茎粗和地上部氮积累量也达到较高的水平; 且主成分分析结果表明, 甜玉米接种 De 菌种综合表现最好。因此, 在田间种植甜玉米时, 推荐接种 De 菌种, 从而更有利于甜玉米的生长和氮磷养分积累。

关键词: 丛枝菌根真菌; 甜玉米; 生物量; 氮磷吸收

中图分类号: S 513 文献标志码: A

引用格式: 吴晓君, 李正飞, 郭佩佩, 等. 不同丛枝菌根真菌对甜玉米幼苗生长及氮磷吸收的影响 [J]. 热带生物学报, 2023, 14(2): 167-172. DOI: [10.15886/j.cnki.rds wxb.2023.02.005](https://doi.org/10.15886/j.cnki.rds wxb.2023.02.005)

丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)是一类共生微生物, 广泛存在自然界中, 能够与大多数的陆生植物形成菌根共生体^[1], 因其在植物根系中产生丛枝结构而得名, 故称其为AMF^[2]。AMF需要植物供应光合产物来生长, 同时AMF通过参与植物生理代谢, 扩大植物根系的吸收面积, 促进植物生长, 与植物形成互惠共生关系^[3]。因此, AMF对作物生长和生态环境有重要影响^[4-5]。有研究表明, AMF通过与植物根系形成共生体, 改善植物对氮磷钾等矿质营养的吸收, 提高作物产量以及增强作物的抗逆性^[6-9], 且AMF与宿主植物是专性营养共生关系^[10]。同一种植物接种不同的AMF, 它们的共生效应不同^[11-13]。当AMF侵染宿主植物后, 宿主植物的根尖表皮加厚, 细胞层数增加, 更加有利于植物根系的生长、分枝以及形态结构的改变, 扩大植物的吸

收面积, 从而促进植物对矿质养分的吸收和利用, 进而促进植物生长^[14-15]。

甜玉米(*Zea mays* var. *rugose* Bonaf.)又被称为水果玉米、蔬菜玉米, 是我国重要的特种经济作物^[16]。甜玉米的营养丰富, 口感甜、鲜、脆、嫩, 深受人们喜爱^[17]。磷是植物体内核酸、蛋白质、多种酶的主要成分^[18], 玉米对磷的反应比较敏感, 因此, 磷的水平对玉米产量有很大的影响^[19]。海南属热带地区, 土壤缺磷现象严重^[20], 这严重制约了农业的发展。氮素是作物生长发育所必需的大量营养元素之一, 是作物生长发育和作物产量最重要的限制因素^[21]。有研究表明, 接种AMF能显著提高植物对氮磷养分的吸收利用^[22]。如接种摩西斗管囊霉(*Funneliformis mosseae*)、球状巨孢囊霉(*Gigaspora margarita*)、细凹无梗囊霉(*Acaulospora scrobiculata*)、扭形伞房球囊霉(*Corymbiglomus*

收稿日期: 2022-04-19

修回日期: 2022-09-19

基金项目: 海南省自然科学基金项目(320RC497); 海南大学科研启动基金(KYQD(ZR)1978)

第一作者: 吴晓君(1996-), 女, 海南大学热带作物学院2019级硕士研究生. E-mail: 1039458994@qq.com

通信作者: 张丽(1986-), 女, 副研究员. 研究方向: 植物-微生物互作. E-mail: lzhang@hainanu.edu.cn

tortuosum)、地表多样孢囊霉(*Diversispora epigaea*)和根内根孢囊霉(*Rhizophagus intraradices*)能显著提高大豆的地上部生物量和氮磷积累量^[23]。目前,关于 AMF 与玉米共生关系研究主要集中在摩西球囊霉(*Glomus mosseae*)上,而其他菌种对玉米生长影响的研究较少,而甜玉米尚未见这方面的报道。因此,本研究选取 6 种不同 AMF 菌种接种甜玉米,分析不同菌种对甜玉米吸收氮磷效率及生长的影响,旨在筛选出促进甜玉米生长的 AMF 高效菌株。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试菌种为摩西斗管囊霉(*Funneliformis mosseae*, Fm)、球状巨孢囊霉(*Gigaspora margarita*, Gm)、细凹无梗囊霉(*Acaulospora scrobiculata*, As)、扭形伞房球囊霉(*Corymbiglomus tortuosum*, Ct)、地表多样孢囊霉(*Diversispora epigaea*, De)和根内根孢囊霉(*Rhizophagus intraradices*, Ri),共 6 种,菌源由中国农业科学院所提供,从农田土壤中筛选出。供试甜玉米(*Zea mays* var. *rugose* Bonaf.)的品种为‘广良甜 27 号’,由广东省良种引进服务公司提供。基质的配方为 $V_{\text{蛭石}} : V_{\text{草炭}} : V_{\text{河砂}} = 4 : 1 : 1$ 。

1.2 试验设计 盆栽试验于 2021 年 12 月 6 日到 2022 年 2 月 23 日在海南大学儋州校区(19°52'11"N, 109°58'11"E)进行。每盆装 3 kg 灭菌后的基质,花盆的规格为:顶部直径 20.9 cm、底部直径 18 cm、深 14 cm。采用完全随机设计,设置 6 个菌种处理,分别为 Fm、Gm、As、Ct、De 和 Ri,每处理接种 20 g 的菌沙(孢子数 $34.0 \text{个} \cdot \text{g}^{-1}$),3 次重复,每盆种植 1 株甜玉米,共 18 盆。播种甜玉米后 30 d 内,甜玉米植株处于幼苗期时,每周浇 1 次 50% 的 Hoagland's 营养液,成苗后,每周浇 1 次 100% Hoagland's 营养液。根据天气情况调整浇水量。

1.3 甜玉米生长指标和生理指标测定 播种 11 周后,用卷尺测量植株株高,用直尺测量根长,用游标卡尺测量茎粗(地上部 5 cm 位置);以及测量地上部鲜质量,然后将地上部甜玉米植株于 105 °C 杀青 30 min,65 °C 烘干至恒重测定其地上部生物量。样品称重后粉碎,用于测定甜玉米地上部的全磷和全氮含量,采用硫酸消煮-水杨酸钠

法测定全氮,硫酸消煮-钼锑抗法测定全磷,全氮和全磷的测定均采用全自动间断化学分析仪(DeChem-Tech, Hamburg, Germany)。

1.4 数据分析相关计算 采用 Microsoft Excel 2016 进行数据处理,通过 DPS 9.01 统计软件进行数据统计和方差分析,不同处理间差异显著性采用 LSD 法进行多重比较,利用 Origin pro 2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 接种不同 AMF 对甜玉米地上部生物量的影响 由图 1 可知,接种不同 AMF 菌种对甜玉米茎粗、株高、地上部鲜质量和生物量有极显著影响($P < 0.001$)。接种 As、De 和 Ct 处理的茎粗显著高于接种 Fm、Gm 和 Ri 处理,接种 As、De 和 Ct 处理间无显著差异;其中,接种 As 处理的茎粗较高,较接种 Fm、Gm 和 Ri 处理分别显著提高了 23.6%、28.6% 和 40.8%;接种 Fm 处理的茎粗较接种 Ri 处理分别显著提高了 14.0%(图 1-A)。接种 De 处理的株高最高,较接种 Fm、Gm、As、Ct 和 Ri 处理分别显著提高了 117.5%、298.1%、170.5%、106.9% 和 157.3%;接种 Fm、As、Ct 和 Ri 处理的株高较接种 Gm 处理分别显著提高了 83.0%、47.2%、92.5% 和 54.7%(图 1-B)。接种 De 处理的甜玉米植株地上部鲜质量最高,较接种 Fm、Gm、As、Ct 和 Ri 处理分别显著高了 107.2%、1 066.7%、156.5%、139.2% 和 358.0%(图 1-C)。接种 De 处理的甜玉米地上部生物量最高,较接种 Fm、Gm、As、Ct 和 Ri 处理分别显著高了 134.8%、2 151.8%、129.7%、235.4% 和 473.2%;接种 Fm 和 As 处理显著高于接种 Gm 和 Ri 处理的甜玉米地上部生物量(图 1-D)。可见,从甜玉米生长量情况来看,与其他菌种相比,接种 De 菌种的甜玉米地上部生物量表现较好。

2.2 接种不同 AMF 对甜玉米根长的影响 由图 2 可知,接种 De 菌种的甜玉米根长显著高于其他菌种,与 Fm、Gm、As、Ct 和 Ri 相比,接种 De 菌种的甜玉米根长分别显著增加了 134.6%、197.6%、144.0%、229.7% 和 134.6%。

2.3 接种不同 AMF 对甜玉米地上部氮、磷养分吸收的影响 从图 3 可知,接种不同 AMF 菌种对甜玉米地上部氮磷养分吸收有极显著影响

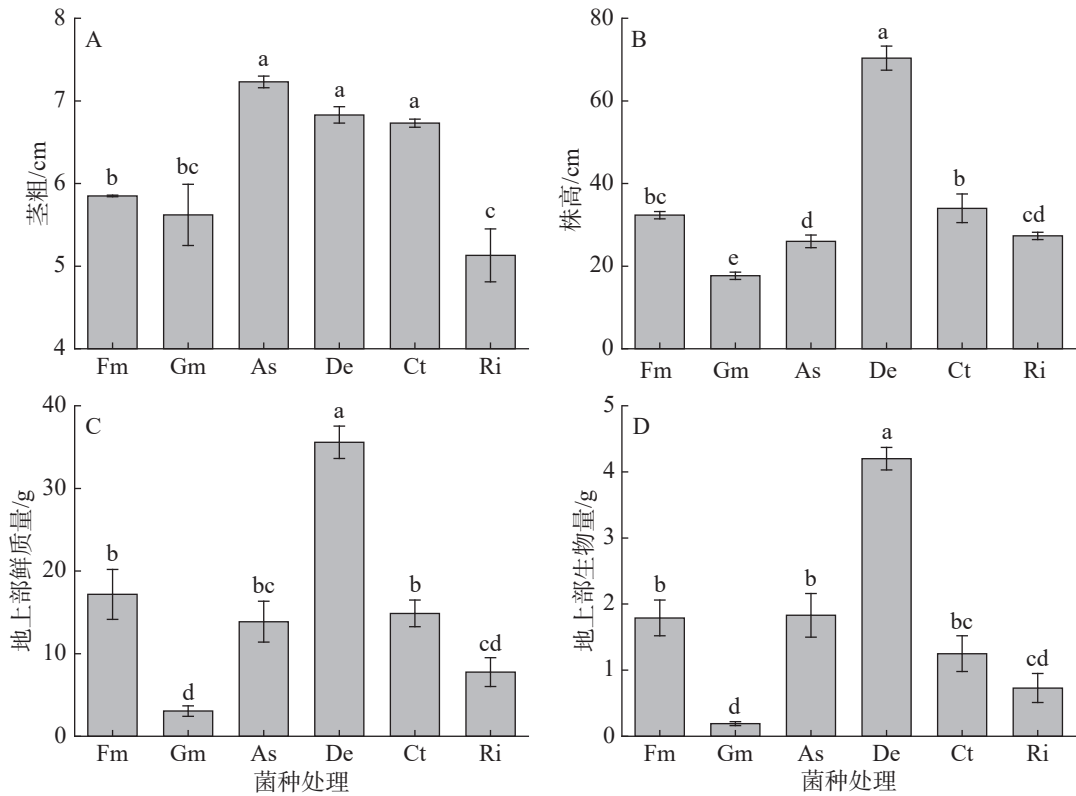


图 1 接种不同 AMF 对甜玉米生长和地上部生长量的影响
不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

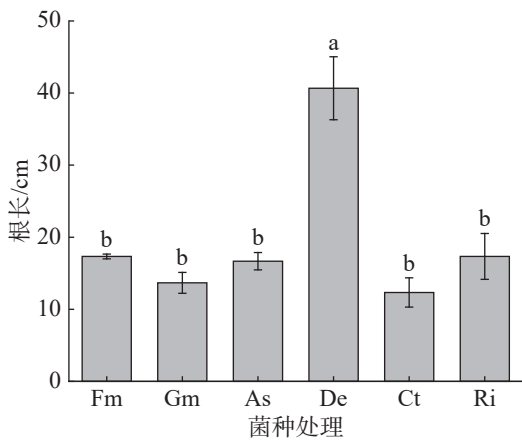


图 2 接种不同 AMF 对甜玉米根长的影响

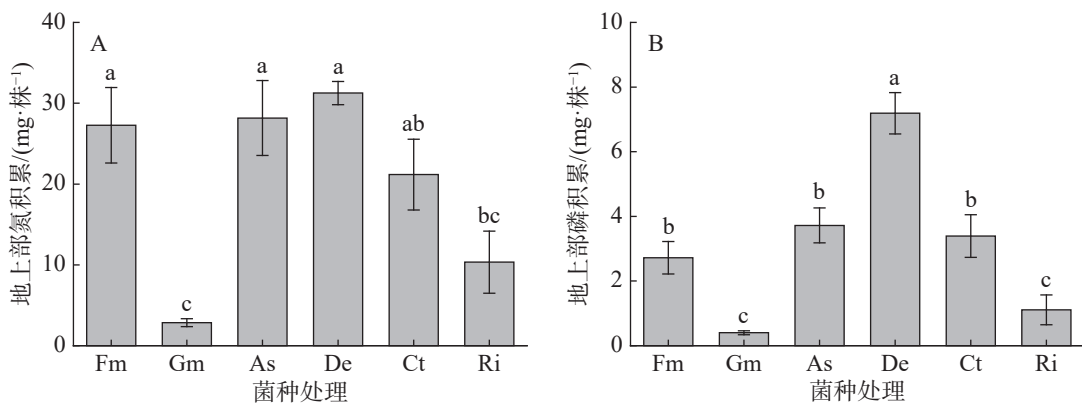


图 3 接种不同 AMF 对甜玉米地上部氮、磷养分吸收的影响

($P < 0.01$)。在不同 AMF 接种处理下, 接种 De 处理的甜玉米地上部氮积累量最高, 较接种 Gm 和 Ri 处理分别显著高了 999.9% 和 202.4%, 与接种 Fm、As 和 Ct 处理无显著差异 (图 3-A)。接种 De 处理的甜玉米地上部磷积累量最高, 较接种 Fm、Gm、As、Ct 和 Ri 处理分别显著高了 164.3%、1700.7%、93.1%、111.9% 和 548.0% (图 3-B)。

2.4 甜玉米植株指标的相关性分析 为了探索甜玉米大田试验中各项指标间的潜在关系, 采用 Person 分析方法进行相关性分析。从图 4 可知, 甜玉米株高与根长、地上部鲜质量、地上部生物量及

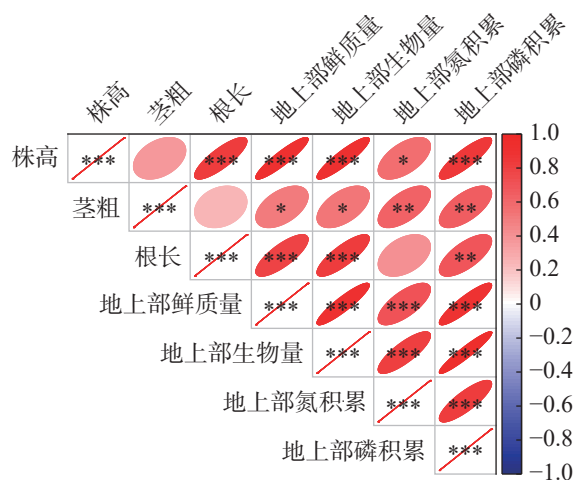
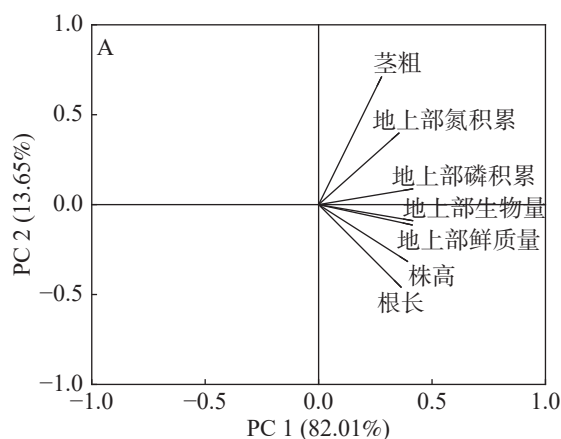


图4 甜玉米植株指标的相关性分析图

将有相关指标进行了 Person 相关性分析, 相关系数范围为 $-1 \sim 1$ 。*表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$, ***表示 $P < 0.001$ 。圆形红色表示显著正相关, 蓝色表示显著负相关, 颜色的深浅表明相关强度, 并随着绝对相关系数的增大由浅向深渐变; 圆形的倾斜角度表明相关强度, 并随着绝对相关系数的增大逐渐倾斜。



氮磷积累量呈显著或极显著正相关。茎粗与甜玉米地上部鲜质量、地上部生物量及氮磷积累量呈显著或极显著正相关。甜玉米根长与地上部鲜质量、地上部生物量及磷积累量呈极显著正相关。甜玉米地上部鲜质量与地上部生物量及氮磷积累量间呈极显著正相关。

2.5 接种不同 AMF 下甜玉米幼苗生长的综合评价 进行主成分分析后, 第一主成分占比 82.01%, 第二主成分占比 13.65%, 前 2 个主成分占比 95.66%, 大于 90%。因此, 选取前 2 个主成分构建 2 维 PCA 图。第一主成分主要反映甜玉米茎粗、地上部氮磷积累量、地上部生物量、地上部鲜质量、株高及根长, 这说明第一主成分基本反映了甜玉米生长和地上部氮磷积累量的情况; 第二主成分主要反映甜玉米茎粗和地上部氮积累量 (图 5-A)。

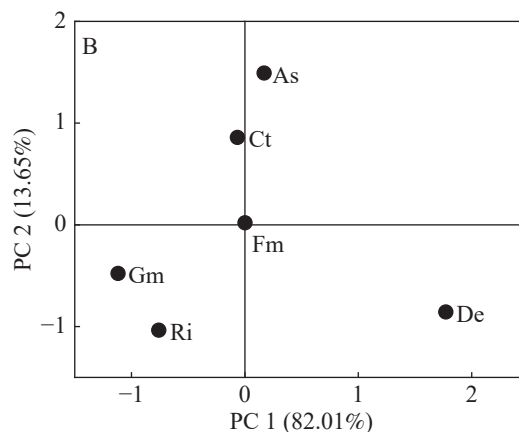


图5 接种不同 AMF 对甜玉米幼苗生长的主成分分析

De 菌种和 As 菌种在 PC 1 上为正值, 表明这 2 个处理在第一主成分上各种指标均有较好的表现; As 菌种和 Ct 菌种在 PC 2 上为正值, 表明这 2 个处理在第二主成分上各项指标也均有较好的表现 (图 5-B)。综上, De 菌种和 As 菌种均位于第一主成分的正值上, De 菌种在第一主成分的正值远大于 As 菌种且第一主成分占比远大于第二主成分, 说明 De 菌种综合表现最好, 甜玉米接种 De 菌种更有利于甜玉米的生长和地上部氮磷养分积累, 其次是接种 As 菌种。

3 讨论

氮磷元素是植物生长发育必需的大量营养元素之一, 是构成植物体内重要化合物的重要组成

成分^[24]。有研究认为, AMF 与宿主植物形成共生体, 能够促进宿主植物根系对营养元素的吸收^[25-26], 从而改善宿主植物的生长。本研究表明, 接种 De 处理的甜玉米地上部磷积累量最高, 较接种 Fm、Gm、As、Ct 和 Ri 处理分别显著高了 164.3%、1700.7%、93.1%、111.9% 和 548.0%。这可能是由于 De 菌种与甜玉米宿主植物形成共生体, 从而扩大了甜玉米根系有效吸收磷养分空间的作用, 增加了甜玉米对磷养分的吸收面积, 进而促进甜玉米对磷养分的吸收, 使甜玉米地上部磷积累量能达到较高水平。本研究表明, 接种 De 处理的甜玉米地上部氮积累量最高, 较接种 Gm 和 Ri 处理分别显著高了 999.9% 和 202.4%, 与接种 Fm、As 和 Ct 处理无显著差异。可见, De、Fm、As 和 Ct 菌种

接种甜玉米, 甜玉米地上部氮积累量能达到较高水平。综上, 接种 De 菌种, 甜玉米地上部氮磷营养达到较高水平, 可能是因为 AMF 侵染甜玉米根系, 从而扩大甜玉米根系对氮磷养分的吸收面积, 起到较好的吸收作用, 促进了甜玉米植株对氮磷的吸收, 进而改善植株氮磷营养状况。

生育期内生物量的积累量是作物产量形成的关键^[27]。有研究表明, 接种 AMF 能显著提高植物的生物量^[23, 28]。AMF 能通过提高宿主植物根系对氮磷养分的吸收, 进而提高植株的生物量^[29]。本研究发现, 接种 De 处理的甜玉米株高、根长、鲜质量和地上部生物量最高, 并显著高于其他接种处理。与前人研究结果类同^[30], 但前人研究结果只是说明了接种 AMF 能够促进玉米的生长, 提高玉米植株地上部生物量, 而对株高、根长及地上部鲜质量没有进行深入研究。可见甜玉米接种 De 菌种, 甜玉米能达到较高水平的地上部生物量。甜玉米株高与根长、鲜质量、地上部生物量及氮磷积累量呈显著或极显著正相关。甜玉米根长与鲜质量、地上部生物量及磷积累量呈极显著正相关。甜玉米鲜质量与地上部生物量及氮磷积累量间呈极显著正相关。这说明甜玉米植株地上部氮磷营养的改善可能是 AMF 侵染促进甜玉米植株生长的主要机制之一。本研究主成分分析结果表明, 甜玉米接种 De 菌种综合得分最高, 说明甜玉米接种 De 菌种更利于甜玉米生长和地上部氮磷养分积累。

综上所述, 接种不同 AMF 对甜玉米根系的菌根侵染率和生长的影响存在一定的差异。其中, 接种 De 菌种, 甜玉米根长、株高、鲜质量、地上部生物量及磷积累量显著高于其他菌种, 且甜玉米茎粗和地上部氮积累量也达到较高的水平。因此推荐甜玉米接种 De 菌种, 以促进甜玉米生长和氮磷养分积累。

参考文献:

- [1] 李岚岚, 李增平, 陈熠. 无梗囊霉属真菌的分类特征及国内分布[J]. 热带生物学报, 2015, 6(3): 335 - 346.
- [2] PARNISKE M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses [J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2008, 6(10): 763 - 775.
- [3] 丁效东, 张林, 李淑仪, 等. 丛枝菌根真菌与根瘤菌接种对大豆根瘤分布及磷素吸收的影响[J]. *植物营养与肥*

科学报, 2012, 18(3): 662 - 669.

- [4] SMITH S E, JAKOBSEN I, GRÖNLUND M, et al. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition [J]. *Plant Physiology*, 2011, 156(3): 1050 - 1057.
- [5] TISSERANT E, MALBREIL M, KUO A, et al. Genome of an arbuscular mycorrhizal fungus provides insight into the oldest plant symbiosis [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(50): 20117 - 20122.
- [6] 田蜜, 陈应龙, 李敏, 等. 丛枝菌根结构与功能研究进展[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(8): 2369 - 2376.
- [7] 张燕, 李娟, 姚青, 等. 丛枝菌根真菌对水分胁迫下枇杷实生苗生长和养分吸收的影响[J]. *园艺学报*, 2012, 39(4): 757 - 762.
- [8] XIE X, WENG B, CAI B, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus supply on the growth and nutrient uptake of *Kandelia obovata* (Sheue, Liu & Yong) seedlings in autoclaved soil [J]. *Applied Soil Ecology*, 2014, 75: 162 - 171.
- [9] GOVINDARAJULU M, PFEFFER P E, JIN H, et al. Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis [J]. *Nature*, 2005, 435(7043): 819 - 823.
- [10] DECLERCK S, STRULLU D G, FORTIN A. *In vitro* culture of mycorrhizas[M]. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005: 3-14.
- [11] 李媛媛, 王晓娟, 豆存艳, 等. 四种宿主植物及其不同栽培密度对 AM 真菌扩繁的影响[J]. *草业学报*, 2013, 22(5): 128 - 135.
- [12] KLIRONOMOS J N. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi [J]. *Ecology*, 2003, 84(9): 2292 - 2301.
- [13] RAJU P S, CLARK R B, ELLIS J R, et al. Effects of species of VA-mycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperatures [J]. *Plant and Soil*, 1990, 121(2): 165 - 170.
- [14] RAKSHIT A, BHADORIA P S. Influence of arbuscular mycorrhizal hyphal length on simulation of P influx with the mechanistic model [J]. *African Journal of Microbiology Research*, 2009, 3(1): 1 - 4.
- [15] YAO Q, WANG L R, ZHU H H, et al. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on root system architecture of trifoliate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) seedlings [J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 121(4): 458 - 461.
- [16] 尹艳, 何黎明. 甜玉米茎腐病发生原因及防治措施[J]. *作物杂志*, 2004(6): 36 - 37.
- [17] 陆大雷, 孙世贤, 陆卫平. 国家鲜食甜玉米区域试验品种产量和品质性状分析[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(13): 164 - 171.
- [18] 黄润. 不同春小麦品种磷营养效率差异机理研究[D].

- 石河子: 石河子大学, 2009.
- [19] 侯云鹏, 杨建, 孔丽丽, 等. 不同施磷水平对春玉米产量、养分吸收及转运的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(3): 123 – 130.
- [20] 钟庸, 蒋菊生, 孟磊, 等. 海南胶园土壤磷吸附特性及其影响因素[J]. 热带作物学报, 2009, 30(10): 1413 – 1416.
- [21] 胡霁堂. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [22] 田超, 李倩, 许庆方, 等. 矿区土接种 AMF 和根瘤菌对紫花苜蓿及土壤氮磷的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(4): 580 – 583.
- [23] 刘云龙, 钱浩宇, 张鑫, 等. 丛枝菌根真菌对豆科作物生长和生物固氮及磷素吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(5): 1761 – 1767.
- [24] 冯远娇, 陈卓娜, 王建武, 等. Bt 玉米丛枝菌根真菌侵染率与养分含量的变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 486 – 491.
- [25] BAIRD J M, WALLEY F L, SHIRTLIFFE S J. Arbuscular mycorrhizal fungi colonization and phosphorus nutrition in organic field pea and lentil [J]. *Mycorrhiza*, 2010, 20(8): 541 – 549.
- [26] ATUL-NAYYAR A, HAMEL C, HANSON K, et al. The arbuscular mycorrhizal symbiosis links N mineralization to plant demand [J]. *Mycorrhiza*, 2009, 19(4): 239 – 246.
- [27] 钱春荣, 王荣焕, 赵久然, 等. 不同熟期玉米干物质积累、分配与转运特征[J]. 生态学杂志, 2017, 36(8): 2177 – 2183.
- [28] 王志刚, 毕银丽, 李强, 等. 接种 AM 真菌对采煤沉陷地复垦植物光合作用和抗逆性的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(5): 800 – 805.
- [29] HABIBZADEH Y, PIRZAD A, ZARDASHTI M R, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mung bean [J]. *Agronomy Journal*, 2013, 105(1): 79 – 84.
- [30] 王义, 李少朋, 陈铸, 等. 丛枝菌根真菌对采煤塌陷地玉米生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(30): 12113 – 12115.

Effects of different arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and the nitrogen and phosphorus absorption of sweet corn seedlings

WU Xiaojun, LI Zhengfei, GUO Peipei, ZHANG Li
(College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: A microcosm experiment was conducted to study the effects of different arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth and the nitrogen and phosphorus absorption of sweet corn seedlings to provide reference for the development of AMF. Sweet corn seedlings (*Zea mays* var. *rugose* Bonaf) were inoculated with 6 AMF species, *Funneliformis mosseae* (Fm), *Gigaspora margarita* (Gm), *Acaulospora scrobiculata* (As), *Corymbiglomus tortuosum* (Ct), *Diversispora epigaea* (De) and *Rhizophagus intraradices* (Ri), and their growth and uptake of nitrogen and phosphorus were observed. The results showed that the plant height, root length, aboveground fresh quality, aboveground biomass and phosphorus accumulation of sweet corn seedlings inoculated with De were the highest and significantly higher than those of other treatments, and that the stem diameter and aboveground nitrogen accumulation of sweet corn seedlings inoculated with De also reached a higher level. The principal component analysis showed that the comprehensive performance of sweet corn seedlings inoculated with De was the best. Therefore, when sweet corn is planted in the field, it is recommended to inoculate sweet corn with De, which is more conducive to the growth of sweet corn and the accumulation of nitrogen and phosphorus nutrients in sweet corn.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi; sweet corn; biomass; nitrogen and phosphorus uptake

(责任编辑: 潘学峰)