

4 种草坪草菌根发育状况及其主要土壤影响因子

陈思敏<sup>1,2</sup>,刘春艳<sup>1,2</sup>,张萧萧<sup>1</sup>,蔡恩甜<sup>1</sup>,吴强盛<sup>1,2\*</sup>

(1. 长江大学 园艺园林学院,湖北 荆州 434025; 2. 长江大学 根系生物学研究所,湖北 荆州 434025)

**摘要:** 为明确影响草坪草菌根发育的土壤主控因子,以高羊茅、麦冬、吉祥草、结缕等 4 种草坪草为材料,研究了 4 种草坪草根系的丛枝菌根侵染率及其与根系可溶性糖、根际土壤有效磷、有机碳、有机质、根系和土壤球囊霉素含量等的关系。结果表明:4 种草坪草菌根侵染率在 12.14% ~ 35.25%,且高羊茅 > 结缕草 > 麦冬 > 吉祥草。根系可溶性糖含量以吉祥草最高,为 53.58 mg/g,结缕草最低,为 21.05 mg/g;土壤有效磷含量以结缕草最高,为 10.34 mg/kg,土壤有机碳和有机质含量均以麦冬最高。相关分析表明,草坪草根系菌根侵染率、侵入点与土壤有机碳、有机质、易提取球囊霉素相关土壤蛋白含量呈极显著负相关,与根系难提取球囊霉素含量呈极显著正相关。综上,田间栽培的 4 种草坪草菌根发育较好,其菌根发育状况主控因子为土壤养分、根系可溶性糖、球囊霉素。

**关键词:** 草坪草; 菌根发育状况; 影响因子; 土壤有效磷; 球囊霉素

**中图分类号:** S283      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004 - 3268(2018)02 - 0063 - 04

Mycorrhizal Development Status of Four Turfgrass Plants and Their Main Soil Influence Factors

CHEN Simin<sup>1,2</sup>, LIU Chunyan<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaoxiao<sup>1</sup>, CAI Entian<sup>1</sup>, WU Qiangsheng<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;

2. Institute of Root Biology, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

**Abstract:** To reveal the main controlling factors affecting the development of turfgrass mycorrhiza, the present study was conducted to analyze the arbuscular mycorrhiza (AM) colonization in roots of four turfgrass plants, including *Festuca arundinacea*, *Ophiopogon japonicus*, *Reineckea carnea*, and *Zoysia japonica*, and further evaluate the relationship between mycorrhizal infection rate and contents of root soluble sugar, soil available phosphorus, soil organic carbon, organic matter, root and soil glomalin. The results indicated that root mycorrhizal infection rate in four turfgrass plants varied from 12.14% to 35.25%, and the root colonization was ranked as the trend of *F. arundinacea* > *Z. japonica* > *O. japonicus* > *R. carnea*. Root soluble sugar content was the highest in *R. carnea* (53.58 mg/g) and the lowest in *Z. japonica* (21.05 mg/g). Soil available phosphorus level was the highest in *Z. japonica* (10.34 mg/kg), and soil organic carbon and soil organic matter contents were the highest in *O. japonicus*. Correlation analysis showed that root mycorrhizal infection rate and entry points in turfgrass plants were significantly negatively correlated with soil organic carbon, organic matter, and easily extractable glomalin-related soil protein contents, and were significantly positively correlated with root difficultly-extractable glomalin content. It concluded that the mycorrhizal status of the four turfgrass plants was good in the field and could be regulated mainly by soil nutrients, root soluble sugar and glomalin.

**Key words:** Turfgrass; Mycorrhizal development status; Influence factor; Soil available phosphorus; Glomalin

收稿日期:2017-08-12  
基金项目:湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划项目(T201604)  
作者简介:陈思敏(1993-),女,安徽六安人,在读硕士研究生,研究方向:三叶草与丛枝菌根共生固氮。  
E-mail:18871609424@163.com  
\* 通讯作者:吴强盛(1978-),男,江西临川人,教授,博士,主要从事菌根生物技术研究。E-mail:wuqiangsh@163.com

丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 是一类在全球分布广泛的共生真菌型土壤微生物,能与 80% 的陆生植物根系形成一种互利共生体丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhiza, AM), AMF 自身不能制造碳水化合物,其生长所需均来源于宿主植株的光合作用,AMF 可帮助植物从土壤中吸收水分和养分,进一步促进植株的生长,进而有利于生态系统功能的完善<sup>[1-2]</sup>。研究表明,土壤因子、宿主植物、气候环境、土壤理化性质等均对 AM 的形成有显著作用<sup>[3]</sup>。土壤养分可直接或者间接影响 AMF 的侵染、分布和种群多样性。吴强盛等<sup>[4]</sup>研究了不同土层毛桃砧秋凌李菌根发育状况后发现,土壤有效磷是 AM 发育的主要限制因子。盛敏等<sup>[5]</sup>在盐碱地区主要植物上的研究结果表明,土壤有机碳含量与 AMF 多样性关系密切。谢靖等<sup>[6]</sup>发现,黄土高原地区紫穗槐的根际 pH 值可显著提高根系菌根侵染概率。此外,AMF 菌丝还能分泌一种特殊糖蛋白,即球囊霉素相关土壤蛋白 (GRSP),它能够附着在土壤颗粒上,进而改善土壤结构,有利于植物的生长<sup>[7]</sup>。在西府海棠幼苗上的研究显示,摘叶和环隔处理能降低根系可溶性糖含量,且菌根侵染率随根内可溶性糖含量的降低而降低<sup>[8]</sup>。综上,菌根的开发主要受到土壤、根际环境因子的影响。

草坪草是城市绿化中的重要草种,是衡量现代化城市绿地水平的标志,对人类的环境起到美化、保护、改善作用<sup>[9]</sup>。在早期研究中发现,大部分的草坪草均能在自然环境中与土著 AMF 形成 AM 结构<sup>[10]</sup>。但前人对于草坪草与菌根发育之间的关系研究报道较少。鉴于此,分析 4 种田间栽培的草坪草根系菌根发育状况,以期寻找到草坪草生长发育的主控土壤影响因子,为今后草坪草生产、维护、管理提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

4 种试验材料分别为高羊茅 (*Festuca arundinacea*)、麦冬 (*Ophiopogon japonicus*)、吉祥草 (*Reineckea carnea*)、结缕草 (*Zoysia japonica*),于 2006 年 11 月播种于长江大学西校区校内草坪基地。

1.2 试验设计与方法

采用单因素试验设计,共 4 个处理,每个草坪草品种为 1 个处理。每个试材随机选取 25 cm<sup>2</sup> 为 1 个小区,每个处理 4 次重复。2016 年 10 月 17 日,去除表层 5 cm 的土壤,收集 5 ~ 15 cm 土层土壤,自然风干,过 0.5 mm 筛备用,并同时收集当年生细根

备用。

1.3 测定项目及方法

根系用清水冲洗干净后,剪取 1 ~ 2 cm 长根段,采用 Phillips 等<sup>[11]</sup>的方法对根系菌根进行染色,菌根侵染率 = 侵染根段长度 / 观察根段长度 × 100%; 侵入点数采用人工计数,在显微镜下观察单位面积菌根侵入点的个数。土壤有效磷、有机碳、有机质含量测定分别采用碳酸氢钠法、湿氧化法、重铬酸钾 - 外加热法<sup>[12]</sup>。易提取球囊霉素相关土壤蛋白 (EE - GRSP)、难提取球囊霉素相关土壤蛋白 (DE - GRSP) 含量测定参考 Wu 等<sup>[13]</sup>的方法。根系易提取球囊霉素 (REG)、根系难提取球囊霉素 (RDG) 含量测定参照 Wu 等<sup>[14]</sup>的方法。根系可溶性糖的提取及含量测定采用蒽酮比色法进行<sup>[15]</sup>。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 SAS 8.1 对数据进行处理,ANOVA 进行差异性分析,并采用邓肯氏新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同草坪草根系菌根发育状况及可溶性糖含量变化

由表 1 可知,4 种草坪草均可形成菌根结构,其中高羊茅的菌根侵染率和侵入点均最高,分别为 35.25% 和 4.37 个/cm,且显著高于其他 3 种草坪草;吉祥草根系菌根侵染率最低,为 12.14%;结缕草侵入点最低 (1.72 个/cm),与麦冬 (1.74 个/cm) 无显著差异,但二者均显著低于高羊茅 (4.37 个/cm) 和吉祥草 (2.79 个/cm);4 种草坪草根系可溶性糖含量大小依次为吉祥草 > 麦冬 > 高羊茅 > 结缕草,且显著差异。

表 1 4 种草坪草根系菌根侵染率、侵入点及可溶性糖含量

草坪草种类	菌根侵染率/%	侵入点/(个/cm)	根系可溶性糖含量/(mg/g)
高羊茅	35.25 ± 2.63a	4.37 ± 0.52a	24.43 ± 0.83c
吉祥草	12.14 ± 1.23d	2.79 ± 0.13b	53.58 ± 1.81a
结缕草	27.19 ± 2.53b	1.72 ± 0.12c	21.05 ± 2.28d
麦冬	17.15 ± 1.67c	1.74 ± 0.16c	42.44 ± 3.08b

注:同列数字后的不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下同。

2.2 不同草坪草根际土壤有效磷、有机碳、有机质含量变化

由表 2 可知,4 种草坪草根际土壤有效磷含量不同,其中以结缕草最高,为 10.34 mg/kg,高羊茅次之,为 6.63 mg/kg,且二者显著高于吉祥草和麦冬。不同草坪草根际土壤有机碳、有机质含量表

现出相同的变化趋势,即麦冬 > 吉祥草 > 结缕草 > 高羊茅。麦冬根际土壤有机碳、有机质含量最高,分别为 2.73、4.71 mg/kg;高羊茅最低,分别为1.61、2.78 mg/kg。

表 2 4 种草坪草根际土壤有效磷、有机碳、有机质以及土壤和根系球囊霉素含量

草坪草种类	土壤有效磷/ (mg/kg)	土壤有机碳/ (mg/kg)	土壤有机质/ (mg/kg)	球囊霉素相关土壤蛋白/ (mg/g)		根系球囊霉素/(mg/g)	
				EE - GRSP	DE - GRSP	REG	RDG
高羊茅	6.63 ± 0.19b	1.61 ± 0.14c	2.78 ± 0.25c	1.12 ± 0.09b	1.63 ± 0.14a	13.81 ± 1.28c	10.93 ± 1.07d
吉祥草	2.32 ± 0.14c	2.10 ± 0.12b	3.62 ± 0.21b	1.24 ± 0.11b	1.34 ± 0.04b	31.57 ± 4.08a	25.40 ± 0.27a
结缕草	10.34 ± 0.94a	2.02 ± 0.19bc	3.49 ± 0.33b	1.59 ± 0.11a	1.46 ± 0.11b	22.74 ± 0.52b	13.27 ± 0.76c
麦冬	2.30 ± 0.17c	2.73 ± 0.26a	4.71 ± 0.44a	1.26 ± 0.11b	1.04 ± 0.10c	32.62 ± 0.34a	21.54 ± 1.80b

2.3 不同草坪草根系与土壤球囊霉素含量的变化

草坪草 EE - GRSP 含量差异较大(表 2),以结缕草最高,为 1.59 mg/g,显著高于其他 3 种草坪草,且其他 3 种草坪草间无显著差异。DE - GRSP 含量以高羊茅最高,为 1.63 mg/g,且与其他 3 种草坪草差异显著;吉祥草和结缕草之间无显著差异,但显著高于麦冬(1.04 mg/g)。草坪草 REG 含量表现为吉祥草、麦冬显著高于结缕草、高羊茅,以高羊茅最低,为 13.81 mg/g,且与其他 3 种草坪草差异显著。4 种草坪草 RDG 含量表现为吉祥草 > 麦冬 >

结缕草 > 高羊茅,且差异显著。

2.4 不同草坪草菌根侵染率与土壤因子的关系

从表 3 可知,根系菌根侵染率与根系菌根侵入点、RDG 含量之间呈显著或极显著正相关,与土壤有机碳、有机质、EE - GRSP、DE - GRSP、根系可溶性糖含量均呈极显著负相关。根系侵入点与土壤有效磷、RDG 含量呈显著或极显著正相关,与土壤有机碳、有机质、REG、EE - GRSP 含量呈极显著负相关。

表 3 根系丛枝菌根发育状况与根系和土壤因子的相关性分析

项目	侵入点	土壤有效磷	土壤有机碳	土壤有机质	REG	RDG	EE - GRSP	DE - GRSP	根系可溶性糖
菌根侵染率	0.53 *	-0.28	-0.64 **	-0.64 **	0.04	0.73 **	-0.92 **	-0.95 **	-0.89 **
侵入点	1.000	0.58 *	-0.70 **	-0.70 **	-0.65 **	0.66 **	-0.69 **	-0.37	-0.16

注: \*、\*\* 分别表示 0.05、0.01 水平相关性显著。

3 结论与讨论

本研究中,在 4 种草坪草根系均观察到明显的 AM 结构,说明 4 种草坪草植物均属典型的 AM 类植物,这与高爱琴等<sup>[16]</sup>的结论一致,即大多数草坪草均能与 AMF 共生。其菌根侵染率在 12.14% ~ 35.25%,说明 AM 在不同草坪草植株上发育状况不同,这与郭辉娟等<sup>[17]</sup>对不同宿主植物影响黄芩根际土著 AMF 生长发育状况的研究结果一致。4 种草坪草中,高羊茅的菌根发育状况最好,表现为菌根侵染率、侵入点最高。在刘润进等<sup>[18]</sup>对芨芨草和高羊茅的研究中,菌根侵染率、丛枝着生率等指标随碱化度增大呈下降趋势,与本研究结果不同,这可能与试验样地土壤酸碱度不同有关。

糖作为一种植物生长发育的重要调节因子,也是菌根生长发育的必需营养物质<sup>[19]</sup>。在枳接种 AMF 中,由于根系“菌根碳库”的存在,AMF 接种会导致枳根系葡萄糖和蔗糖含量不能保持一致增长,反而有利于宿主植物建立更优的根系形态<sup>[20]</sup>。本研究表明,根系可溶性糖含量与根系菌根侵染率呈

极显著负相关。Wu 等<sup>[21]</sup>发现,在接种 AMF 后,植物蔗糖和葡萄糖的根系分配率与植物根系构型呈正相关,这与本研究结论不一致,原因可能是较优势的菌根发育消耗了过多的根系可溶性糖,且本研究是田间植物样品调查,而前者是盆栽桃树,两者的试验材料、试验环境不同,故结果不同。

本研究表明,土壤有效磷与根系菌根侵入点呈显著正相关,土壤有机碳、有机质含量与菌根侵染率、侵入点呈极显著负相关,说明较高的菌根侵染率往往出现在贫瘠的土壤中,这与前人在刺槐、红橘、桃、梨、葡萄上的研究结果<sup>[6,22]</sup>一致。因此,在贫瘠的土壤中,较好的菌根发育状况对宿主植物的促生效应更明显。球囊霉素是 AMF 孢子和菌丝释放的一类特殊糖蛋白,具有增加土壤有机碳库、改善土壤团聚体的作用<sup>[13-14]</sup>。一般来说,球囊霉素相关土壤蛋白含量越高,土壤结构越优,本研究中,EE - GRSP 含量与根系菌根侵染率、侵入点间呈极显著负相关,DE - GRSP 含量与菌根侵染率呈极显著负相关,这与 Wu 等<sup>[21]</sup>对田间种植的柑橘树调查结果一致,可能是影响球囊霉素相关土壤蛋白的田间因

子较多,干扰了其与菌根的关系。在本研究中,RDG 含量与菌根侵染率、侵入点呈极显著正相关,REG 含量与侵入点呈极显著负相关。易提取球囊霉素性质不稳定,易转化为难提取球囊霉素,而难提取球囊霉素是一种性质稳定的球囊霉素<sup>[13]</sup>。

总之,田间种植的草坪草能被土著 AMF 侵染,发育相对较好,且能被土壤养分、根系可溶性糖、球囊霉素影响。因此,在今后草坪草管理中,要加强土壤因子的管理,促进根系 AM 的发育,进而有利于提高 AM 的功效。

参考文献:

[1] 王同智,包玉英. AM 真菌对濒危物种四合木及近缘种霸王抗旱性的影响[J]. 华北农学报,2014,29(3):170-175.

[2] 武祥玉,崔新仪. 丛枝菌根真菌对植物生长及果实品质的影响[J]. 天津农业科学,2016,22(6):116-119.

[3] 刘振坤. 刺槐丛枝菌根真菌提高土壤营养和结构稳定性的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.

[4] 吴强盛,李国怀,韦启安. 不同土层桃砧李丛枝菌根发育及其与 3 个土壤因子的关系[J]. 长江大学学报(自然科学版),2012,9(6):25-28.

[5] 盛敏,唐明,张峰峰,等. 土壤因子对甘肃、宁夏和内蒙古盐碱土中 AMF 的影响[J]. 生物多样性,2011,19(1):85-92.

[6] 谢靖,唐明. 黄土高原紫穗槐丛枝菌根真菌与土壤因子和球囊霉素空间分布的关系[J]. 西北植物学报,2012,32(7):1440-1447.

[7] 吴强盛,袁芳英,费永俊,等. 菌根真菌对白三叶根际团聚体稳定性、球囊霉素相关土壤蛋白和糖类物质的影响[J]. 草业学报,2014,23(4):269-275.

[8] 齐国辉,丁平海,陈贵林. 西府海棠幼苗根内可溶性糖含量对 VA 菌根侵染的影响[J]. 河北林果研究,2000,15(1):39-41.

[9] 杨斌,尚晶,韩洁茹,等. 草坪草水分生理研究进展[J]. 山西农业科学,2011,39(8):914-917.

[10] 邹英宁,费永俊,王凤玲. 高羊茅属草坪草菌根发育及其与土壤有效磷、速效钾的关系[J]. 长江大学学报(自然科学版),2011,2(2):230-233.

[11] 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]. Trans Br Mycol Soc,1970,55(1):158-161.

[12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2008.

[13] Wu Q S, Li Y, Zou Y N, et al. Arbuscular mycorrhiza mediates glomalin-related soil protein production and soil enzyme activities in the rhizosphere of trifoliate orange grown under different P levels[J]. Mycorrhiza,2015,25(2):121-130.

[14] Wu Q S, Wang S, Cao M Q, et al. Tempo-spatial distribution and related functionings of root glomalin and glomalin-related soil protein in a citrus rhizosphere[J]. Journal of Animal and Plant Sciences,2014,24(1):245-251.

[15] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,1999.

[16] 高爱琴,余仲冬. VAM 对几种园林草坪草侵染的显微观察[J]. 西北植物学报,2003,23(12):2077-2080.

[17] 郭辉娟,王薇,贺学礼. 宿主植物对黄芩根际土著丛枝菌根真菌生长发育的影响[J]. 河南农业科学,2011,40(12):98-101.

[18] 刘润进,李元美,袁玉清,等. 土壤碱化度对高羊茅和芨芨草菌根发育的影响[J]. 莱阳农学学报,1999,16(2):79-83.

[19] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal symbiosis [M]. London: Academic Press,2008.

[20] 邹英宁,吴强盛,李艳,等. 丛枝菌根真菌对枳根系形态和蔗糖、葡萄糖含量的影响[J]. 应用生态学报,2014,25(4):1125-1129.

[21] Wu Q S, Li G H, Zou Y N. Improvement of root system architecture in peach (*Prunus persica*) seedlings by arbuscular mycorrhizal fungi related to allocation of glucose/sucrose to root [J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,2011,39(2):232-236.

[22] Sena J O A, Labate C A, Cardoso E J B N. Physiological characterization of growth depression in arbuscular mycorrhizal citrus seedlings under high P levels [J]. Revista Brasileira de Ciencia do Solo,2004,28:827-832.