

菌根菌接种对松柏类古树生长促生效应研究

汤珖华

上海市绿化管理指导站, 上海

收稿日期: 2023年4月17日; 录用日期: 2023年5月22日; 发布日期: 2023年5月31日

摘要

目的: 研究接种菌根菌对上海地区松柏类古树生长的影响, 为应用菌根菌促生古树生长提供科学依据。方法: 以上海地区5种松柏类古树(五针松*Pinus parviflora*、白皮松*Pinus bungeana*、黑松*Pinus thunbergii*、雪松*Cedrus deodara*、桧柏*Sabina chinensis*)为材料, 采用南京林业大学提供的黄色须腹菌(*Rhizopogon luteolus*, R1)、多噬伯克霍尔德氏菌(*Burkholderia multivorans*, FJ9)、美味牛肝菌(*Boletus edulis*, Be)进行接种。结果: 结果表明, 接种1年后, 各古树的生长量、叶绿素含量、根系活力和根系侵染率均有增加, 尤其是根系活力增加明显, 接种FJ9能够显著提升松柏古树的叶绿素含量, 接种R1、Be能够显著提升古树的菌根侵染率, 每株(树)接种量10 L与15 L并无显著区别。结论: 接种菌根菌对于松柏类古树的各项生理指标均有一定程度的促进作用, 接种R1、Be对于松柏类古树地下根系活力和菌根侵染率提升效果较好, 接种FJ9对于叶绿素含量提升效果最好, 但其中的机制尚需进一步研究。

关键词

菌根菌, 松柏类古树, 促生作用

Study on Promoting Effect of Mycorrhizal Inoculation on the Growth of Ancient Coniferous Trees

Yaohua Tang

Shanghai Municipal Landscape Management and Instructional Station, Shanghai

Received: Apr. 17th, 2023; accepted: May 22nd, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

Objective: To study the effects of inoculation of mycorrhizal fungi on the growth of ancient conifer-

ous trees in Shanghai, and to provide scientific basis for the application of mycorrhizal fungi to promote the growth of ancient trees. **Methods:** Five kinds of ancient coniferous trees (*Pinus parviflora*, *Pinus bungeana*, *Pinus thunbergii*, *Cedrus deodara*, and *Sabina chinensis*) and three mycorrhizal fungi (*Rhizopogon luteolus*, R1; *Burkholderia multivorans*, FJ9; *Boletus edulis*, Be) were used as materials. **Results:** The results showed that after one year after inoculation, the growth, chlorophyll content, root activity, and root colonization rate of all trees increased, especially the root activity increased significantly. Inoculation of FJ9 could significantly increase the chlorophyll content of ancient coniferous trees, inoculation of R1 and Be could significantly increase the mycorrhizal colonization rate of ancient trees, and there was no significant difference between inoculation amount of 10 L and 15 L. **Conclusion:** Inoculation of mycorrhizal fungi enhanced the physiological indexes of ancient coniferous trees to a certain extent. Inoculation of R1 and Be has a better effect on the root activity and mycorrhizal infection rate of ancient coniferous trees, while the inoculation of FJ9 has the best effect on the chlorophyll content, but the mechanism needs further study.

Keywords

Mycorrhizal Fungi, Ancient Coniferous Trees, Growth Promotion

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

古树是指树龄在百年以上的树木，是上海城市绿化与历史文化的重要组成部分，更是城市的重要自然资源，对它的保护是城市绿化建设的重要组成部分。古树多为乡土树种，一个地方的历史越长，其古树也越多，古树的树龄也越长，古树保护的好坏，对提升城市的历史文化内涵起着至关重要的作用[1] [2] [3] [4]。目前生长在上海的松柏类古树有白皮松(*Pinus bungeana*)、五针松(*Pinus parviflora*)、大王松(*Pinus palustris*)、黑松(*Pinus thunbergii*)、雪松(*Cedrus deodara*)、龙柏(*Sabina chinensis*)、桧柏(*Sabina chinensis*)等 7 个树种 320 株，占到上海古树总数的 20%左右，但是目前生长的松柏古树中许多生长不良，其中还有不少处于濒危临死状态。

对于松柏类古树生长来说，除其自身遗传因素外，其植物 - 微生物共生系统的形成是影响其生长的重要因素。菌根(Mycorrhiza)是土壤中菌根真菌与植物根系形成的互利共生体，菌根真菌能够为宿主植物带来多种有益影响，其在生态系统建立和物质循环过程中都扮演着重要角色[5]。世界上约有 10%的植物能形成外生菌根，多数为乔木树种，主要有松科(Pinaceae)、柏科(Cupressaceae)壳斗科(Fagaceae)、桦木科(Betulaceae)、杨柳科(Salicaceae)等 34 科 100 余属，广泛分布于全球各类森林生态系统中[6]。在对于杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、‘檀桥’板栗(*Castanea mollissima* ‘Tanqiao’)等林木的一些研究中发现，接种菌根菌具有促进林木的养分吸收与生长、增强苗木抗逆性 等多重功能[7] [8] [9]。松柏类树木对于菌根共生系统的依赖性很强，缺少菌根就会造成生长不良甚至死亡[10] [11] [12] [13]。早在 1978 年前后，国内专家童竞新等率先在国内对国外松菌根进行研究，之后由于诸多原因省的松树菌根研究一直处于停滞不前状态。松柏类古树是上海古树的重要组成部分，但是由于生长环境不良及土壤瘠薄等原因，目前生长的松柏古树中许多出现了生长不良现象。因此，接种菌根菌，改善松柏类古树的生长环境，对于进一步保护上海松柏类古树、促进古树健康生长具有重要意义。本研究以上海市生长在不同地点的 5 类松柏古树为研究对象，进行菌根菌接种，研究接种菌根菌对于松柏古树生长的促生作用。研究结果可为松柏

类古树的复壮与促生提供技术依据，并可为今后更大范围内进行松柏类古树的复壮应用提供理论支撑。

2. 试验材料与研究方法

2.1. 试验材料

接种所选的松柏类古树，是按照上海地区松柏类古树的数量、分布状况等因素综合考虑确定的。并于 2017 年 5 月对所选 5 种松柏类古树进行菌根菌接种，接种菌剂采用南京林业大学提供的黄色须腹菌 (*Rhizopogon luteolus*, RI)、多噬伯克霍尔德氏菌 (*Burkholderia multivorans*, FJ9) 和美味牛肝菌 (*Boletus edulis*, Be)，具体接种情况见表 1。

在接种前，还对拟接古树的生长量、叶绿素含量、根系菌根侵染率、根系活力进行了测定，并在接种后 1 年，即 2018 年 5 月，对相同指标进行了重复测定，以观察菌根菌接种对古树生长的促进作用。

Table 1. Mycorrhizal inoculation of ancient coniferous trees in Shanghai

表 1. 上海松柏类古树的菌根菌接种情况

菌种	树种	编号	地点	接种量(L)
RI	五针松 <i>Pinus parviflora</i>	0563	西郊宾馆	10
	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	0508	区中医院	10
	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	0511	博乐路东大街	10
	五针松 <i>Pinus parviflora</i>	0557	闵行饭店	15
	白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0535	斜土路 2421 号	15
	白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0530	区少年宫	15
	桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0580	方塔园	15
Be	白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0534	吴兴路 81 号	10
	五针松 <i>Pinus parviflora</i>	0560	兴国宾馆	15
	黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	12-003	红园	15
	黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	12-017	电机厂	15
	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	0521	市精神病院	15
	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	0522	市精神病院	15
FJ9	白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0542	龙柏饭店	10
	桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0573	金鳌山公园山上	10
	白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0543	龙柏饭店	15
	桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0567	清真寺	15
	桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0574	金鳌山公园山上	15
	桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0581	金鳌山公园山上	15

2.2. 研究方法

菌根菌接种方法：在古树冠幅内的东、南、西、北四方向各挖 1 条深度约 40 cm 的浅沟，要求沟深

达到古树根系的分布区，将菌剂均匀撒入沟内，用土掩埋。

土壤取样方法：在挖出的 4 个浅沟内采集土壤样品，土样取回后于室内通风阴凉处风干，磨细过 2 mm 筛后保存备用。

年生长量测定方法：在古树东南西北 4 个方位选取 15 个枝条进行标记，用量尺量取枝条生长量并记录，取平均值。

叶绿素含量测定方法：采用分光光度法进行测定[14]。

根系菌根感染率测定方法：采用染色法进行测定[9]。

根系活力测定方法：采用 TTC (2, 3, 5-三苯基氯化四氮唑)还原法测定[14]。

试验中所有数据间的差异显著性检验都采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)按照 Duncans Multiple-Range 差异性检验进行分析。所有的统计分析都是用 SPSS 13.0 软件完成。

3. 结果与分析

3.1. 接种菌根菌对古树根系感染特征的影响

根系的感染率可以表征植物与菌根菌的共生状况，植物根系感染率高，意味着植物与菌根菌共生关系更为紧密，菌根菌对于植物的影响可能就越大。本研究表明，对松柏科古树进行菌根菌接种，能够很好的促进古树与菌根菌的共生关系，古树根系的菌根感染率均有明显提升。从接种量上看，接种 10 L 菌剂时，古树根系的菌根感染率平均提高了 84% ($p < 0.05$)，当接种 15 L 时，菌根感染率平均提高了 121.8% ($p < 0.05$) (图 1(A))。从菌剂组成上看，接种 3 种菌根菌后，大部分古树的菌根感染率都有显著提高，其中接种 Be 和 R1 的处理分别提升了 162.3%和 146% ($p < 0.05$)，而接种 FJ9 对古树根系感染率的提升效果不显著，只有 21.9% (图 1(B))。

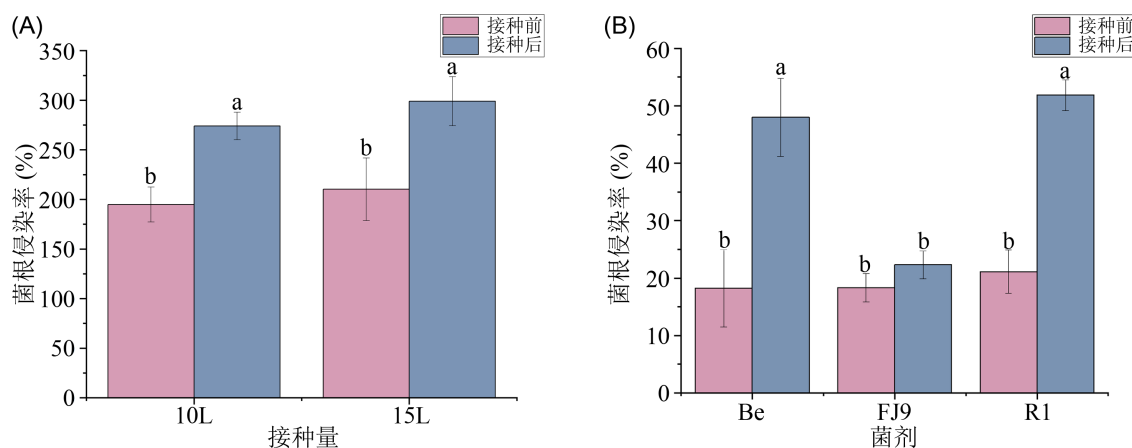


Figure 1. Mycorrhizal infection rate of ancient trees before and after mycorrhizal inoculation
图 1. 菌根菌接种前后古树根系感染特征变化情况

3.2. 接种菌根菌对古树生长量的影响

如图 2 所示，在接种菌根菌，除编号为 0521、0522 的雪松(在根周堆过土)外，接种菌根菌对松柏类古树的生长均有不同程度的促进作用。从接种量来看，不论是接种 10 L 还是 15 L，菌根菌对于古树的生长均有促进作用，生长量分别提高了 12.5% (接种 10 L)和 11.7% (接种 15 L)，但不同接种量间无显著差异($p > 0.05$; 图 2(A))。从接种剂组成来看，接种 Be、FJ9 与 R1 对古树生长量均有促进作用(图 2(B))，其中以 Be 的促进效果最好，生长量提高了 15.8%，但不同接种剂间无显著差异($p > 0.05$)。

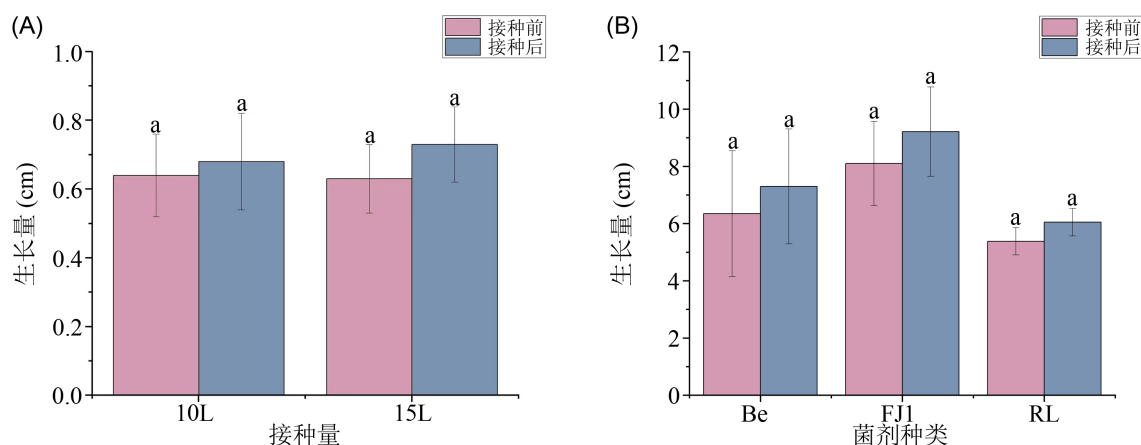


Figure 2. Growth of ancient trees before and after mycorrhizal inoculation
图 2. 菌根菌接种前后古树的生长状况

3.3. 接种菌根菌对古树叶片叶绿素的影响

叶绿素是植物生长必需的主要光合色素，其含量在一定程度上可以反映植株进行光合作用的潜力。本研究发现接种菌根菌后古树叶片的叶绿素含量均有提升(图 3)，除根部堆过土的 0521、0522 号雪松外，其他古树在接种菌根菌后，其叶片叶绿素含量皆有较好的提升效果。接种 FJ9 能够显著提升古树叶片的叶绿素含量(提升了 16.3%， $p < 0.05$ ，图 3(B))，而接种 RI 和 Be 的古树叶片叶绿素含量也有一定程度的提升，但差异不显著($p > 0.05$)。从接种量上来看，接种 10 L 与接种 15 L 菌剂对于古树叶片的叶绿素含量均有促进作用，但接种量间并无显著差异($p > 0.05$ ，图 3(A))。

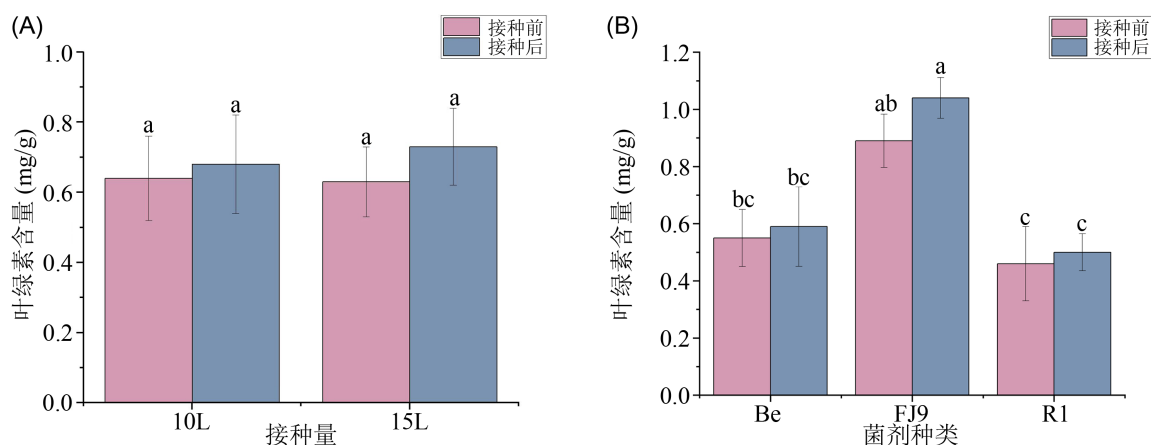


Figure 3. Chlorophyll content of ancient trees before and after mycorrhizal inoculation
图 3. 菌根菌接种前后古树叶片叶绿素含量的变化

3.4. 接种菌根菌对古树根系活力的影响

根系活力能够间接反映植物根系的生长情况和营养吸收水平，植物根系活力越高，其养分吸收能力越强。接种菌根菌后，古树的根系活力均有不同程度的增强(图 4)。从接种量来看，接种 10 L 菌剂时古树根系活力提高了 45.5%，接种 15 L 时根系活力提高了 42.25%，但不同接种量间无显著差异($p > 0.05$) (图 4(A))。从菌剂组成来看，接种 3 种菌根菌对于古树根系活力均有提升效果，其中接种 RI 的提升效果最好，为 48.68% (图 4(B))， $p < 0.05$)。

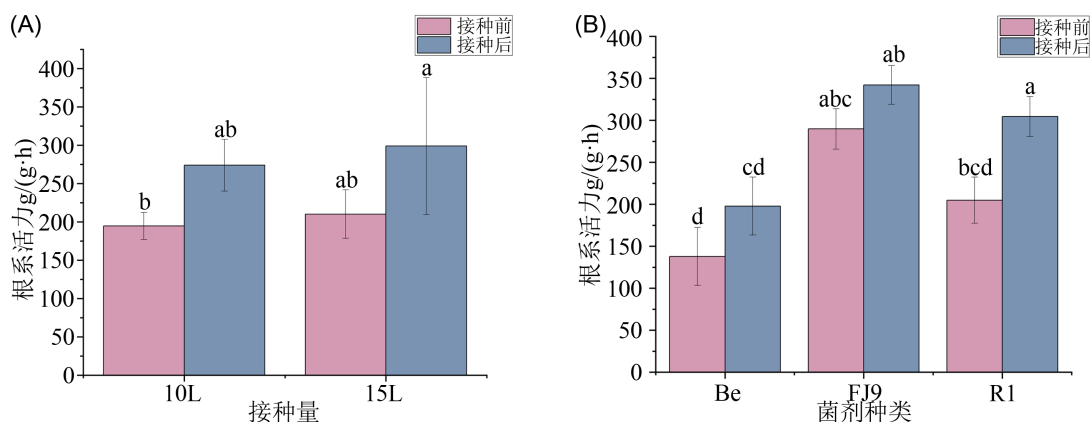


Figure 4. Root activity of ancient trees before and after mycorrhizal inoculation

图 4. 菌根菌接种前后古树根系活力变化情况

4. 讨论

研究表明, 菌根菌接种能对植物的生长发育起到显著的正调控作用[15], 松柏类古树作为上海古树的重要组成部分, 由于生长环境不佳等原因, 许多松柏类古树都生长不良甚至濒临死亡。松柏类树木对于菌根菌的依赖性很强, 因此本研究通过菌根菌接种、土壤取样、年生长量测定、叶绿素含量测定、根系菌根侵染率测定、根系活力测定, 接种不同的菌根菌, 测定松柏类古树接种前后的生长及生理指标, 分析和比较了菌根菌接种对松柏类古树生长的促进作用, 结果对于古树名木的保护及复壮具有很好的指导意义。

本研究发现, 施用菌根菌后能够很好的提高宿主植物的菌根侵染率, 表明松柏类古树能够与菌根菌形成很好的共生关系。菌根侵染率越高, 表明菌根菌与宿主植物根系形成的共生位点越多, 与植物根系进行物质交换的界面就越大, 菌根菌的外生菌丝吸收的养分与植物进行交换的速度也越快、效率更高, 这是有利于植物生长的[11]。在本研究中, 添加菌根菌剂后, 大部分古树的菌根侵染率都得到了显著提升, 其中接种 Be、R1 菌剂对于松柏类古树的菌根侵染率提升效果较好。可能是菌根菌具外部菌丝, 可以通过延长的菌丝来扩大植物对养分的吸收范围和面积, 但在本研究中不同菌种及不同接种量间古树的生长量差异并不显著, 可能与古树个体较大, 自身生长较慢有关。研究还表明菌根菌接种后能在一定程度上提升树木的光合能力[8], 但是这种研究主要是在幼苗或小树上进行的, 对于古树的相关研究还鲜见报道。而叶绿素是植物在光合作用过程中进行光能吸收和传递的重要功能物质, 是光合作用中最重要和最有效的色素, 不仅是吸收和传递光能的载体, 同时也是电子传递过程中必不可少的电子传递体, 是光合作用的必要条件。其含量在一定程度上能反映植物同化物质的能力, 从而影响植物的生长[16], 植物进行光合作用的能力直接依赖于绿叶中叶绿素含量的高低。本研究对于接种菌根菌后古树叶片的叶绿素含量进行了分析, 发现接种菌根菌的古树叶绿素含量均高于未接种处理, 而接种 FJ9 对于松柏类古树叶绿素含量的提升效果最好。因为古树树体较高大, 进行光合测定比较困难, 但是叶绿素作为植物进行光合作用的主要色素, 其含量水平也能从某种程度上反映树木叶片光合性能的强弱[17]。

本研究还发现接种菌根菌能够促进松柏类古树根系活力的提升, 其中接种 R1 菌剂对于古树的根系活力提升效果最好, 与之前的一些研究结果类似[18], 可能是由于菌根菌对于古树的促生效果较好, 加快了古树地下吸收根的更新, 使得根系活力有所提高, 由于外生菌丝的存在, 提升了古树对于养分的吸收能力[10][19][20], 较高的养分浓度也间接提升了古树的根系活力。

5. 结论

综上所述, 对于松柏类古树接种菌根菌总体上提升了古树地上部分的生长量、叶绿素含量, 并增强

了古树的根系活力和菌根侵染率。接种 RI、Be 菌剂对上海松柏类古树的根系活力和菌根侵染率有较大的提升作用；从实验情况来看，接种量对于古树各项测定指标则无明显差异。

参考文献

- [1] 汤珧华, 潘建萍, 邹福生, 乐笑玮, 傅徽楠, 周圣贤. 上海松柏古树生长与土壤肥力因子的关系[J]. 植物营养与肥科学报, 2017, 23(5): 1402-11408.
- [2] 张树民. 古树名木衰弱诊断及抢救技术[J]. 中国城市林业, 2012(5): 44-47.
- [3] 尤扬, 张晓云, 刘晓杰, 李保印, 周建. 卫辉市区古树名木现状调查及保护探讨[J]. 河南科技学报, 2012, 10(15): 14-16.
- [4] 李锦龄. 北京松柏类古树濒危原因及复壮技术的研究[J]. 北京园林, 2001(1): 24-31.
- [5] Smith, S.E. and Read, D.J. (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, Cambridge.
- [6] Whitham, T.G., Difazio, S.P., Schweitzer, J.A., *et al.* (2008) Extending Genomics to Natural Communities and Ecosystems. *Science*, **320**, 492-495. <https://doi.org/10.1126/science.1153918>
- [7] 戴伟红, 邹锋, 江盈, 等. 接种 4 种外生菌根真菌对“檀桥”板栗幼苗生长、光合及养分含量的影响[J]. 江西农业大学学报, 2022, 45(2): 311-321.
- [8] 高晓磊, 张丽仔, 唐窃, 等. 接种外生菌根真菌对不同种源栓皮栎幼苗生长和生理特征的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(11): 63-70.
- [9] 弓明钦, 陈应龙, 仲崇禄. 菌根研究及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997: 108-110.
- [10] 李侠, 叶诚诚, 张俊伶, 李海港, 王幼珊. 丛枝菌根真菌侵染指标与植物促生效应相关性分析[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(10): 41-53.
- [11] 刘润进, 陈应龙. 菌根学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 15-45.
- [12] 彭思利, 王晓燕, 李剑, 等. 外生菌根真菌接种对干旱胁迫下构树幼苗生长及光合特性的影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(9): 2719-2726.
- [13] 吴林坤, 林向民, 林文雄. 根系分泌物介导下植物-土壤-微生物互作关系研究进展与展望[J]. 植物生态学报, 2014, 38(3): 298-310.
- [14] 陈刚, 李胜. 植物生理学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016: 123-126.
- [15] 赵昕, 阎秀峰. 丛枝菌根对喜树幼苗生长和氮、磷吸收的影响[J]. 植物生态学报, 2006(6): 947-953.
- [16] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 123-126.
- [17] 郑宁, 李素英, 王鑫厅, 等. 基于环境因子对叶绿素影响的典型草原植物生活型优势研究[J]. 植物生态学报, 2022, 46(8): 951-960.
- [18] 金陈斌. 外生菌根菌促进白皮松和桧柏古树生长的应用[J]. 广西林业科学, 2018, 47(2): 233-236.
- [19] 陈善福, 舒庆尧. 植物耐干旱胁迫的生物学机理及其基因工程研究进展[J]. 植物学通报, 1999(5): 555-560.
- [20] 张扬, 曾丽琼, 叶建仁, 吴小芹, 张林平. 接种外生菌根真菌对湿地松林促生效应及根际微生物数量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(5): 57-61.