



台州学院

本科毕业设计（论文）

(2022 届)

题 目 南方菟丝子寄生鬼针草对凋落物分解的影响

学 院 生命科学学院

专 业 18 生物科学（师范）

班 级 18 生物教育 1 班

学 号 1831020011

学生姓名 徐文杰

指导教师 李钧敏

完成日期 2022 年 4 月 14 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权台州学院可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于

☐√保 密，在一年后，解密适用本授权书。

☐无密级。

（请在以上相应方框内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

南方菟丝子寄生鬼针草对凋落物分解的影响

学生：徐文杰

指导老师：李钧敏

摘要：寄生植物可以通过寄生途径和凋落物途径影响土壤生态系统养分循环。以往研究发现寄生植物凋落物和寄主植物凋落物的分解速率不同，但是相关机制还不清楚。研究还发现寄生植物的寄生效应可以通过级联效应影响凋落物分解，但是相关机制也还不清楚。AMF 是土壤中调控凋落物分解的重要生物因子。本研究以茎寄生植物南方菟丝子为寄生植物，鬼针草为寄主植物，利用 25 μm 的尼龙膜隔离根系效应和菌丝效应，通过 ^{15}N 同位素标记的南方菟丝子凋落物和鬼针草凋落物，研究 AMF 对南方菟丝子凋落物和鬼针草凋落物分解调控的差异，以及南方菟丝子的寄生效应如何通过 AMF 影响凋落物分解。结果发现：（1）在无 AMF 时，菟丝子凋落物和鬼针草凋落物分解无显著差异；在有 AMF 时，鬼针草凋落物分解以及周围菌丝密度显著大于菟丝子凋落物；（2）菟丝子凋落物周围的细菌群落多样性显著低于鬼针草凋落物；AMF 显著影响了鬼针草凋落物周围细菌群落，而对菟丝子凋落物周围细菌群落无显著性影响；（3）无寄生效应时，AMF 显著促进鬼针草凋落物的分解以及显著影响周围细菌群落，而有寄生效应时，AMF 对鬼针草凋落物的分解以及周围细菌群落无显著影响。以上结果表明，寄生植物凋落物的分解不同于寄主植物凋落物可能源自于 AMF 的不同调控，寄生植物通过寄生效应调控凋落物分解可能是通过 AMF 介导的。我们的结果暗示了 AMF 可以参与寄生植物通过寄生效应和凋落物效应对土壤生态系统的影响。

关键词：寄生植物；AMF；土壤微生物；凋落物分解；寄生途径；凋落物途径

Effects of parasitism on *Bidens pilosa* by *Cuscuta australis* on litter decomposition

Student: Wenjie Xu

Instructor: Junmin Li

Abstract: Parasitic plant can affect soil nutrient cycling via both parasitism pathway and litter pathway. Previous studies showed parasitic litter decomposed different with host litter, however the mechanism was unclear. Previous studies also showed parasitic plant can affect litter decomposition via cascading effect, but the mechanism was also unclear. AMF are important soil microbes that can regulate litter decomposition. In this study, we used *Cuscuta australis* as parasitic plant, *Bidens pilosa* as host plant, and used 25µm nylon membrane to separate the effect of root and AMF hypha. We used ¹⁵N labelled *Cuscuta* litter and *Bidens* litter to test the effect of AMF on decomposition of *Cuscuta* litter and *Bidens* litter, and test whether and how the parasitism effect regulates litter decomposition via AMF. that the results were shown in the followings. (1) In the absence of AMF, the decomposition of *Bidens* litter was not significantly different with *Cuscuta* litter; in the presence of AMF, the decomposition of *Cuscuta* litter and the hypha density were significantly lower than *Bidens* litter; (2) The bacterial diversity in soil with *Cuscuta* litter was significantly lower than that with *Bidens* litter; AMF significantly affected the bacterial community in soil with *Bidens* litter, but did not significantly affected that with *Cuscuta* litter; (3) In the absence of parasitism, AMF significantly promoted litter decomposition and affect bacterial community, however, in the presence of parasitism, these effects were non-significant. Our results indicated that AMF can involve in the regulation of litter and parasitism pathways by parasitic plant on soil ecosystem.

Keywords: parasitic plant; AMF; soil microbes; litter decomposition; parasitism pathway; litter pathway

目录

1 前言.....	1
1.1 寄生植物简介.....	1
1.2 寄生植物对土壤生态系统的影响.....	1
1.3 土壤凋落物分解的机制和影响因素.....	1
1.4 AMF 对土壤凋落物分解的影响和机制	2
1.5 寄生植物和 AMF 的相互作用	2
1.6 提出科学问题和假设.....	3
2 实验设计.....	3
2.1 实验材料.....	3
2.2 土壤基质.....	3
2.3 盆钵装置.....	3
2.4 ^{15}N 标记凋落物	4
2.5 育苗、移苗和 AMF 接种	4
2.6 实验设计.....	4
2.7 微生物滤液添加.....	5
2.8 实验收获.....	5
2.9 分解袋内细菌群落检测.....	5
2.10 数据分析.....	5
3 研究结果.....	6
3.1 AMF 对不同寄生植物和寄主植物凋落物分解的影响	6
3.1.1 凋落物类型和 AMF 对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比的影响	6
3.1.2 凋落物类型和 AMF 对分解袋总 N 剩余百分比的影响	7
3.1.3 凋落物类型和 AMF 对分解袋内菌丝密度的影响	7
3.1.4 凋落物类型和 AMF 对分解袋内细菌群落的影响	8
3.2 南方菟丝子寄生对 AMF 调控凋落物降解的影响	11
3.2.1 寄生和 AMF 对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比的影响	11
3.2.2 寄生和 AMF 对分解袋总 N 剩余百分比的影响	12
3.2.3 寄生和 AMF 对分解袋内菌丝密度的影响	12

3.2.4 寄生和 AMF 对分解袋内细菌群落的影响	13
4 讨论	17
4.1 AMF 对不同寄生植物和寄主植物凋落物分解的影响	17
4.2 南方菟丝子寄生对 AMF 调控凋落物降解的影响	17
5 结论	17
参考文献	19
致谢	22

1 前言

1.1 寄生植物简介

寄生植物是自然界中特殊植物类群之一，由于根系或叶片退化或缺少足够的叶绿素而只能以吸器寄生在寄主的根和/或茎上，从寄主植物中掠夺营养物质和水分等满足自身生长发育^[1,2,3]。

寄生植物主要分为两种。一种是半寄生植物，植物叶片内含有叶绿体，能够进行正常的光合作用，水分和无机盐则是依靠寄生寄主植物获取。例如，檀香树。另一种是全寄生植物，没有叶片或叶片退化，因而不能正常进行光合作用，通过导管与筛管与寄主植物连接，吸取营养和水分。例如，菟丝子属植物。

1.2 寄生植物对土壤生态系统的影响

首先，寄生植物可以明显地改变土壤地球化学循环，将固有的不可动的成分转变为可利用的营养成分，改变土壤生物群落的结构与功能，从而显著影响地下生物群落^[5]。

其次，寄生植物能从寄主吸收大量的养分并聚集，具有比寄主更高的营养的浓度^[9, 10]。如根半寄生植物的 N 和 P 可达到寄主的 2~4 倍^[11,12,13]。而当寄生植物死亡后，其凋落物比寄主植物可以更快分解并且放出高质量的营养物质，显著提高土壤的营养成分。

第三，全寄生植物的寄生能够间接改变寄主植物根际土壤细菌的组成、多样性和功能^[7]。寄生植物寄生寄主后可以驱动寄主根的生长和周转、根的分泌物格局，改变输入到土壤的碳，影响分解者的活性与营养的矿化，改变生物化学循环，从而改变土壤的理化性质^[14]。

寄生植物不仅可以通过寄生途径影响生态系统，还可以通过凋落物途径来进行调控。凋落物的分解在土壤养分循环中具有重要作用。以往研究发现寄生植物凋落物具有非常丰富的养分，在调控土壤养分的循环和植物群落方面具有重要作用^[36]，但是寄生植物凋落物的分解机制却鲜少有研究。部分研究显示，半寄生植物在其叶片中积累养分，因此产生高质量的凋落物，与非寄生植物相比，寄生植物往往结构较为简单，因此分解和养分释放速度更快^[42]。

1.3 土壤凋落物分解的机制和影响因素

土壤凋落物主要由自然界植物在生长发育的过程中所产生的新陈代谢产物，由植物地上部分产生并归还到地面，作为分解者的物质和能量来源，从而维持生态系统功能持续稳定的所有有机质的总称。凋落物的分解在土壤有机质形成、营养物质平衡、生态系统碳循环和能量流动，以及维持生态系统结构和功能方面起着重要作用^[8]。

土壤凋落物的降解可能受到几个因素的影响。首先，淋溶作用将动植物和微生物残体中

的无机盐及可溶性小分子有机质释放到土壤中，其对有机质并不能产生直接的降解作用；其次，土壤中的动物，比如蚂蚁和蚯蚓，可以通过摄食和消化道消化液作用释放少量无机营养，大部分通过机械性破碎将大分子有机质降解为小分子有机质，以便腐生微生物的进一步利用；最后，即土壤中的腐生微生物通过自身新陈代谢将有机质降解为小分子无机营养，其中包括的各种代谢酶的参与，是有机质降解最重要的环节^[15]。

1.4 AMF 对土壤凋落物分解的影响和机制

丛枝菌根真菌（arbuscular mycorrhizal fungi, AMF）是土壤中的一个重要微生物类群，它们通过感染植物根系的方式与植物形成共生体，大约 80%的陆地植物都可以与其形成互利的共生关系。寄主植物向 AMF 提供碳源，AMF 可以帮助植物吸收土壤中的无机氮、磷和其他微量元素^[4]。

AMF 可以显著影响土壤凋落物的分解，其相关机制主要有以下三种。首先，AMF 对凋落物或有机质分解既有直接或间接促进作用，也有限制凋落物分解的抑制作用^[16]。AMF 可以显著加快凋落物的质量损失和碳、氮的释放，加速有机物质的降解。AMF 抑制分解过程的证据较少，Brzostek 等^[17]的环剥试验（减少 AMF 碳水化合物供应）发现，随着 AMF 丰度下降，叶凋落物分解增加了 43%。

其次，AMF 通过菌丝分泌有机物质和菌丝缠绕等在稳定土壤团聚体中发挥重要作用^[18]。AMF 可以通过改变土壤团聚体组成和稳定性增加土壤中有机质的分解^[19]。另外，AMF 通过和土壤微生物相互作用影响凋落物有机质的分解。当 AMF 为土壤微生物供应碳时，有机质加速分解；当 AMF 与土壤有机物相互竞争养分时，有机质的分解速度减慢^[20]。

第三，AMF 对不同的土壤微生物的影响也是不同的。封晔^[6]的 AMF 对丹参根际土壤微生物的实验中，AMF 会通过菌根分泌物改变土壤微环境，促进土壤细菌、放线菌的繁殖，改变微生物区系，AMF 对丹参根系细菌数量影响较大，其次为放线菌，对真菌数量影响较小。导致 AMF 对不同土壤有机质的分解效率时不同的。

1.5 寄生植物和 AMF 的相互作用

寄生植物通过根系与土壤生态系统进行物质和能量交换，所以寄生植物会影响土壤微生物的组成和活动。被槲寄生植物寄生的杜松根部 AMF 的数量和槲寄生植物的密度成反比^[23]。说明寄生植物对土壤中有机质的竞争力比菌根强，导致菌根在寄主植物根部的定植减少。

AMF 对寄生植物的生长有一定的影响。李爱荣等^[21]的 AMF 实验中得知，AMF 能够显著的缓解半寄生植物对寄主植物的寄生危害，只是在不同的植物组合中，缓解机制有所不同。但在 Davies 和 Grace^[22]研究发现，鼻花能降低 AMF 在黑麦草(*Lolium perenne*) 根系中 30%

定殖率。侧面证明了 AMF 与寄生植物在争夺寄主所合成碳的过程中处于劣势，进一步说明鼻花寄生于接种 AMF 的寄主时生长和繁殖较好的现象。由此可知，寄生植物与 AMF 之间存在相互抑制的关系，如果寄生强度过大，AMF 会抑制寄生植物在寄主植物根部形成吸器 [24]。

1.6 提出科学问题和假设

南方菟丝子（*Cuscuta australis* R. Br.）是一种一年生寄生草本，茎缠绕，黄色，纤细，直径约 1 毫米，无叶。南方菟丝子主要分布于中国多省地及亚洲的中、南、东部。本文以南方菟丝子为寄生植物，以鬼针草为寄主植物，分析南方菟丝子寄生对鬼针草及南方菟丝子凋落物分解的影响及机制，我们假设：（1）相比较寄主植物凋落物，AMF 能够更快的分解寄生植物凋落物；（2）寄生效应能够抑制 AMF 对凋落物的分解。

2 实验设计

2.1 实验材料

以鬼针草（*Bidens pilosa* L.）为寄主植物，南方菟丝子（*Cuscuta australis*）为寄生植物。鬼针草为一年生草本，生长周期适中且广泛分布与我国南部地区，便于收集和存活。南方菟丝子是全寄生植物，利用吸器从寄主植物吸取水分和营养。

2.2 土壤基质

土壤基质来自台州椒江地区野外荒地，将土壤与石英砂按体积比例 1：1 混合而制成。所有实验所用基质均采用高温灭菌法进行灭菌，分成多个基质袋放在灭菌锅内，在 120℃ 的高温下灭菌时间长达 2h。基质冷却后装入盆钵中。

2.3 盆钵装置

本研究所用的盆钵装置如图 1 所示（长×宽×高：20cm×10cm×11.5cm）。每一个盆钵装置都有一个生长管，将生长管的一侧开口，生长管的开口一侧对着盆钵的另一侧，并且开口用一个 25μm 的尼龙网覆盖，该网能够使 AMF 菌丝通过，但不能使植物根系穿过（图 1）。装有 ¹⁵N 标记凋落物的分解袋埋入盆钵的另一侧。

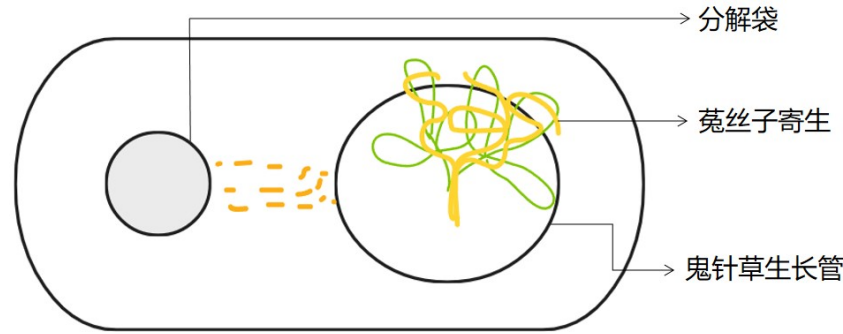


图 1 盆钵装置

2.4 ^{15}N 标记凋落物

在周转箱中种植鬼针草，当鬼针草的幼苗大约 20cm 高的时候，将 10cm 长的南方菟丝子缠绕在鬼针草的茎上，让南方菟丝子寄生。大约 2 个月后，用浓度为 99% 的 ^{15}N - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液浇灌。然后，收集鬼针草落叶以及衰落的南方菟丝子作为寄主和寄生植物的凋落物来源。之后，将植物凋落物在 45°C 的烘箱中干燥，使其重量恒定，然后研磨成粉末。将 40g 蒸压粗砂和 0.3g ^{15}N 标记的植物凋落物（鬼针草或南方菟丝子）均匀混合在一起，然后一起装入由 $25\mu\text{m}$ 尼龙网制成的分解袋中。

2.5 育苗、移苗和 AMF 接种

播种前，鬼针草种子利用次氯酸钠消毒，然后在育苗盘中培养，育苗盘中使用灭菌后的营养土。培育鬼针草种子两周后，选择高度在 2cm 左右的鬼针草幼苗，分别移苗至盆钵中的生长管中，每个生长管内一株鬼针草幼苗（图 1）。移苗前在每个生长管内接种 AMF *Rhizophagus intraradices* 菌种。

为了检测 AMF 根外菌丝对凋落物分解的影响，本研究通过转动生长管与否，使的根系和分解袋之间的菌丝断开或连接（AMF-，AMF+）。

2.6 实验设计

本研究主要包括两部分实验，实验一主要检测 AMF 对不同寄生植物和寄主植物凋落物分解的影响是否相同。所用的凋落物为 ^{15}N 标记的寄主植物凋落物和 ^{15}N 标记的寄生植物凋落物。实验包含两个因子：（1）不同凋落物处理：寄生植物凋落物（C）和寄主植物凋落物（B）；（2）不同 AMF 处理：通过转动生长管与否，使的根系和分解袋之间的菌丝断开或连接（AMF-，AMF+）。每个处理 6 个重复。

实验二主要研究南方菟丝子寄生对 AMF 调控凋落物降解的影响。所用的凋落物为 ^{15}N 标记的寄主植物凋落物。实验包含两个因子：（1）不同寄生处理：南方菟丝子寄生和非寄生（P+，P-）；（2）不同 AMF 处理：通过转动生长管与否，使根系和分解袋之间的菌丝断

开或连接（AMF⁻，AMF⁺）。每个处理 6 个重复。

移苗后 1 个月，对南方菟丝子寄生处理组进行南方菟丝子的寄生，选择长势平均为 10cm 左右的南方菟丝子茎段对鬼针草寄生。每一株鬼针草植株寄生 2~3 根南方菟丝子，寄生时将装满水的 1ml 离心管插入土壤表面，将南方菟丝子一端浸入水内，另一端搭在鬼针草茎上。每天观察寄生情况，若南方菟丝子没有较好的寄生效果或菟丝子死亡，要及时补充新的菟丝子寄生，待寄生全部完成后进行培育。每天浇水，观察南方菟丝子生长情况。

2.7 微生物滤液添加

为了确保基质中存在分解微生物，我们在放入分解袋后立即向每个盆钵中添加 50ml 的野外原始土壤滤液。滤液制备过程如下：将 250g 未经灭菌的原始土壤加入 1L 无菌水，将其充分混合，然后通过 38 μ m 的筛子^[28]，除去较大的孢子和菌丝，如 AMF 的孢子和菌丝，收集滤液^[29]。

2.8 实验收获

首先，小心取出所有的分解袋，每个袋子中的 5g 土壤立即转移到-80℃的冰箱中，以便以后提取 DNA，另外 5g 土壤使用改良膜过滤技术测定 AMF 菌丝密度^[25]。剩余样品风干磨粉，利用质谱仪进行同位素丰度检测。

小心的收集各个组别中寄生的南方菟丝子并一一放入标记好的信封当中。从植物的近根部处用剪刀剪下植物的地上部分，并放入信封记好标签，清洗好剪刀后再开始用于下一株植物。最后，再小心的取出植物的根部，用清水清洗干净，并放入信封记好标签。将装有鬼针草或南方菟丝子植物材料的信封放入 60℃烘箱烘干 72h，然后称重记录。

2.9 分解袋内细菌群落检测

在每个实验的每个处理内随机选取 5 个分解袋，用 16S 扩增测序法分析细菌群落。首先使用土壤 DNA 提取试剂盒提取总 DNA（Tiangen Biotech, Beijing, China）。然后利用引物对 338F/806R (5'-ACTCCTACGGGAGGCAGCA-3'/5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3')^[26] 扩增细菌 16S rRNA 基因片段。样品回收纯化后在 Illumina NovaSeq 平台上进行测序（San Diego, CA, USA）。测序完成后对序列进行质量过滤、去噪和合并，并除去嵌合体^[27]。所有序列聚集成可操作的分类单元（OTUs），阈值为 97%。分类分配是依据 SILVA 数据库确定的。

2.10 数据分析

根据分解袋内初始 ¹⁵N 丰度，计算实验结束后，分解袋内剩余 ¹⁵N 百分比。然后利用双因素方差分析检测不同凋落物处理和不同 AMF 处理对分解袋内剩余 ¹⁵N 百分比、剩余总氮

百分比、菌丝密度的影响（实验一）；利用双因素方差分析检测不同寄生处理和不同 AMF 处理对分解袋内剩余 ^{15}N 百分比、剩余总氮百分比、菌丝密度的影响（实验二）。数据分析采用 IBM SPSS Statistics 20 软件，图表制作采用 SigmaPlot 12.0 软件。

作为微生物 α 多样性的度量，我们计算了 Shannon 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数和观测的物种种类。作为 β 多样性的度量，我们基于 Bray-Curtis 相似性，在 OTU 水平上使用非度量多维尺度（NMDS）计算细菌群落间的差异。此外，采用 ANOSIM 方法检测不同凋落物处理下，AMF 对细菌群落的影响；以及不同 AMF 处理下，AMF 对不同凋落物周围细菌群落的影响（实验一）。此外，依然采用 ANOSIM 方法检测不同寄生处理下，AMF 对细菌群落的影响；以及不同 AMF 处理下，寄生对细菌群落的影响（实验二）。

3 研究结果

3.1 AMF 对不同寄生植物和寄主植物凋落物分解的影响

3.1.1 凋落物类型和 AMF 对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比的影响

在凋落物类型的单因素作用，其对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比产生了极显著的影响，而在 AMF 的单因素作用影响下，其对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比没有显著性影响，凋落物类型和 AMF 的交互作用对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比有显著性影响（表 1）。在转动生长管（AMF-）的情况下，凋落物的类型对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比不存在显著性差异。在不转动生长管（AMF+）的情况下，凋落物的类型对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比存在显著性影响。在鬼针草凋落物的情况下，转动生长管处理对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比存在显著性影响。在南方菟丝子凋落物的情况下，转动生长管处理对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比不存在显著性差异（图 2）。

表 1 凋落物类型和转生长管处理对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比、总氮剩余百分比、菌丝密度的影响

变量	变量来源	<i>d.f.</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
^{15}N 剩余百分比	litter	1, 19	26.250	<0.001
	Turned	1, 19	2.887	0.106
	litter×Turned	1, 19	7.748	0.012
总 N 剩余百分比	litter	1, 19	25.368	<0.001
	Turned	1, 19	3.292	0.085
	litter×Turned	1, 19	8.396	0.009
Log(菌丝密度)	litter	1, 20	18.294	<0.001
	Turned	1, 20	69.228	<0.001
	litter×Turned	1, 20	22.974	<0.001

注：菌丝密度进行了 log 数据转换

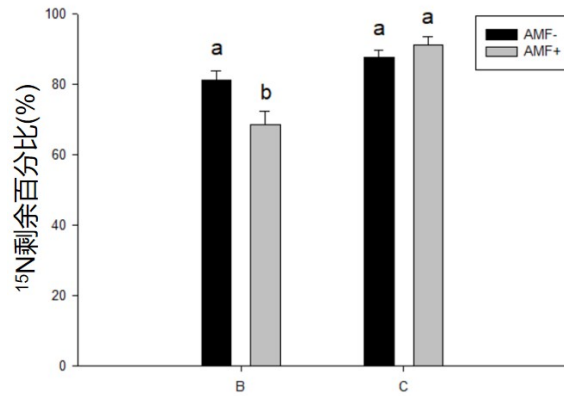


图 2 生长管不同转动处理和凋落物类型对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比的影响

注：AMF-：转动生长管；AMF+：不转动生长管；B：鬼针草凋落物；C：南方菟丝子凋落物；不同小写字母表示处理之间存在显著性差异。

3.1.2 凋落物类型和 AMF 对分解袋总 N 剩余百分比的影响

在凋落物类型单因素作用下，对分解袋总 N 剩余百分比存在极显著影响，而在 AMF 单因素作用下，分解袋总 N 剩余百分比不存在显著影响，凋落物类型和 AMF 的交互作用，对分解袋总 N 剩余百分比存在显著性影响（表 1）。在转动生长管（AMF-）的情况下，凋落物类型对分解袋总 N 剩余百分比不存在显著性影响。在不转动生长管（AMF+）的情况下，凋落物的类型对分解袋总 N 剩余百分比存在显著性差异。在鬼针草凋落物的情况下，转动生长管处理对分解袋总 N 剩余百分比存在显著性影响。在南方菟丝子凋落物的情况下，转动生长管处理对分解袋总 N 剩余百分比不存在显著性差异（图 3）。

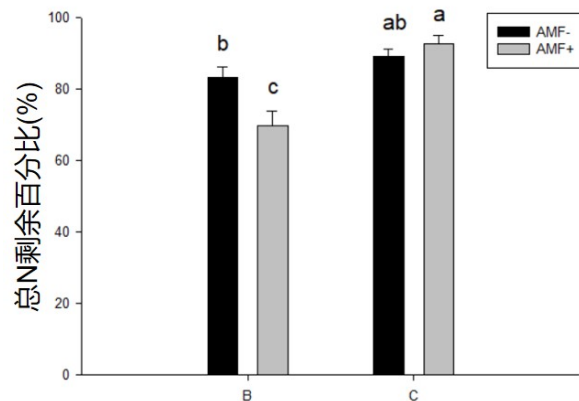


图 3 生长管不同转动处理和凋落物类型对鬼针草总 N 剩余百分比的影响

注：AMF-：转动生长管；AMF+：不转动生长管；B：鬼针草凋落物；C：南方菟丝子凋落物；不同小写字母表示处理之间存在显著性差异。

3.1.3 凋落物类型和 AMF 对分解袋内菌丝密度的影响

在凋落物类型和 AMF 的单因素作用，对分解袋内菌丝密度产生了极显著的影响；凋落

物类型和 AMF 的交互作用对分解袋内菌丝密度有极显著性影响(表 1)。在转动生长管(AMF-)的情况下,凋落物的类型对分解袋内菌丝密度不存在显著性差异。在不转动生长管(AMF+)的情况下,凋落物的类型对分解袋内菌丝密度存在显著性影响。在鬼针草凋落物的情况下,转动生长管处理对分解袋内菌丝密度存在显著性影响。在南方菟丝子凋落物的情况下,转动生长管处理对分解袋内菌丝密度不存在显著性差异(图 4)。

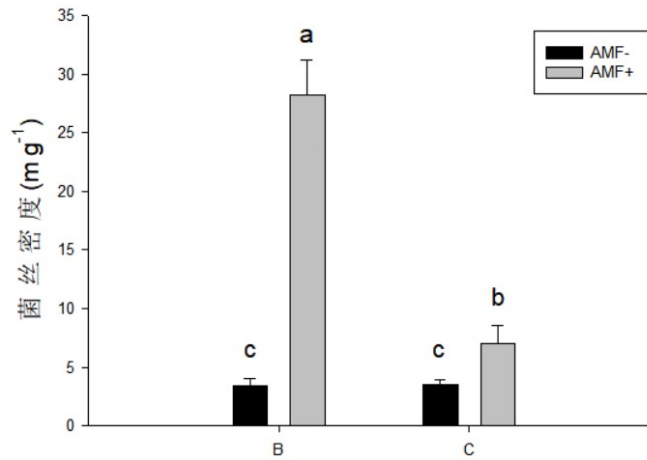


图 4 生长管不同转动处理和凋落物类型对分解袋内菌丝密度的影响

注: AMF-: 转动生长管; AMF+: 不转动生长管; B: 鬼针草凋落物; C: 南方菟丝子凋落物; 不同小写字母表示处理之间存在显著性差异。

3.1.4 凋落物类型和 AMF 对分解袋内细菌群落的影响

寄生植物凋落物分解袋中的细菌群落的 α 多样性 (Shannon 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数和观测的物种种类) 明显低于寄主植物凋落物的分解袋中的细菌群落(图 5)。生长管的旋转对带有寄主植物凋落物和带有寄生植物凋落物的分解袋中的细菌群落的 α 多样性没有显著影响(图 5)。南方菟丝子凋落物的分解袋中芽孢杆菌属丰度显著高于有寄主植物凋落物的分解袋。然而, 南方菟丝子凋落物分解袋中, *Devosia* (沃斯菌属)、*Shinella* (志贺氏菌属)、*Asticcacaulis* (不粘柄菌属)、*Acinetobacter* (不动杆菌属) 的丰度显著低于有寄主植物凋落物的分解袋(图 6, 表 2)。在装有寄主凋落物的分解袋中, 生长管的转动显著降低了 *Devosia* (沃斯菌属)、*Shinella*, (志贺氏菌属)、*Asticcacaulis* (不粘柄菌属) 的丰度, 但对装有菟丝子凋落物的分解袋中则没有显著影响(图 6, 表 2)。方差分析结果显示, 有寄主凋落物和有寄生植物凋落物的分解袋中的细菌群落存在显著性差异(当生长管未转动时 (AMF+): $p=0.015$; 当生长管转动时 (AMF-): $p=0.004$; 图 7)。方差分析的结果还表明, 在有寄主凋落物的分解袋中, 生长管转动显著改变了细菌群落 ($p=0.031$), 但对

装有寄生植物凋落物的袋子中没有改变 ($p>0.05$; 图 7)。

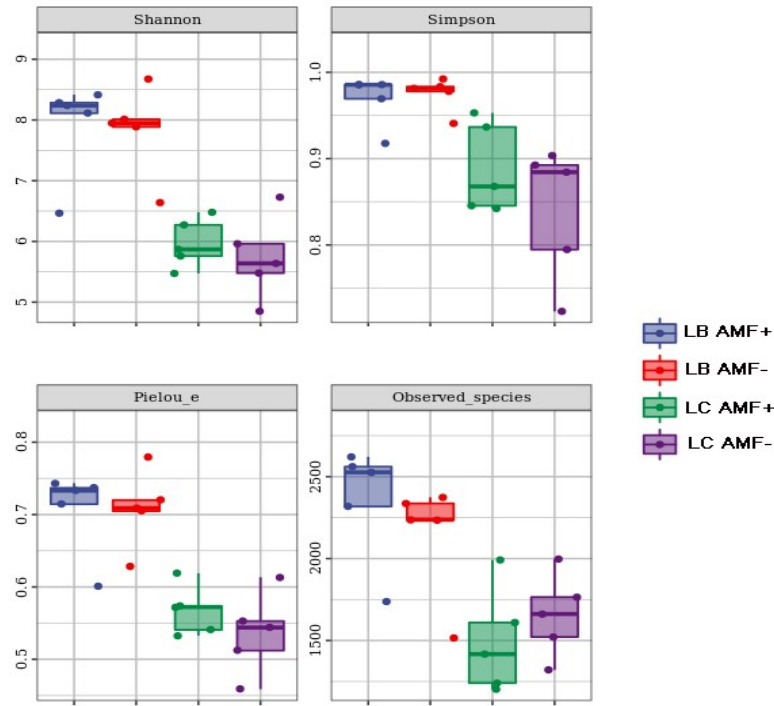


图 5 分解袋中土壤细菌群落的 α 多样性指数

LB: 装有寄主植物鬼针草的分解袋; LC: 装有寄生植物南方菟丝子的分解袋;

AMF-: 转生长管减少了 AMF; AMF+: 未转生长管, AMF 未降低

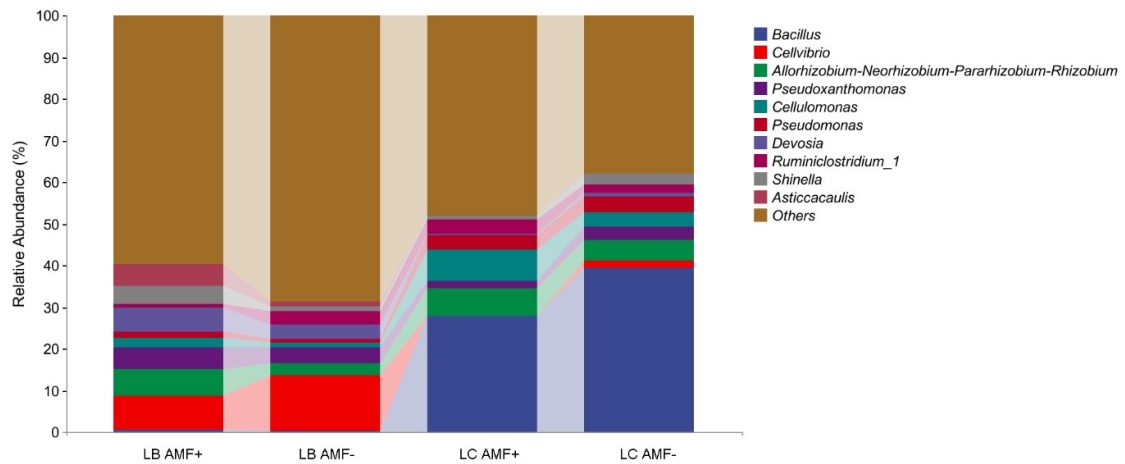


图 6 分解袋中土壤细菌类群在属水平上的平均相对丰度

LB: 装有寄主植物鬼针草的分解袋; LC: 装有寄生植物南方菟丝子的分解袋;

AMF-: 转生长管减少了 AMF; AMF+: 未转生长管, AMF 未降低

表 2 分解袋中土壤细菌属类群的平均 (\pm SE) 相对丰度

Treatments	<i>Bacillus</i>	<i>Allorhizobium- Neorhizobium- Pararhizobium- Rhizobium</i>	<i>Cellulomonas</i>	<i>Pseudoxanthomonas</i>	<i>Cellvibrio</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Devosia</i>	<i>Shinella</i>	<i>Asticcacaulis</i>	<i>Acinetobacter</i>
LB AMF+	0.005+0.002	0.063+0.012	0.021+0.011	0.053+0.015	0.083+0.051	0.017+0.003	0.057+0.010	0.042+0.009	0.054+0.021	0.020+0.006
LB AMF -	0.007+0.007	0.063+0.027	0.051+0.016	0.045+0.025	0.009+0.003	0.032+0.013	0.03+0.002	0.021+0.005	0.018+0.006	0.029+0.007
LC AMF+	0.279+0.087	0.065+0.018	0.075+0.036	0.017+0.008	0.001+0.0004	0.037+0.017	0.003+0.001	0.010+0.004	0.0002+0.00005	0.013+0.004
LC AMF -	0.410+0.049	0.071+0.017	0.063+0.027	0.032+0.009	0.012+0.004	0.012+0.003	0.005+0.0009	0.016+0.008	0.001+0.0004	0.010+0.003

注：B：装有寄主植物鬼针草的分解袋；LC：装有寄生植物南方菟丝子的分解袋；AMF-：转生长管减少了 AMF；AMF+：未转生长管，AMF 未降低数值为平均值 \pm SE。

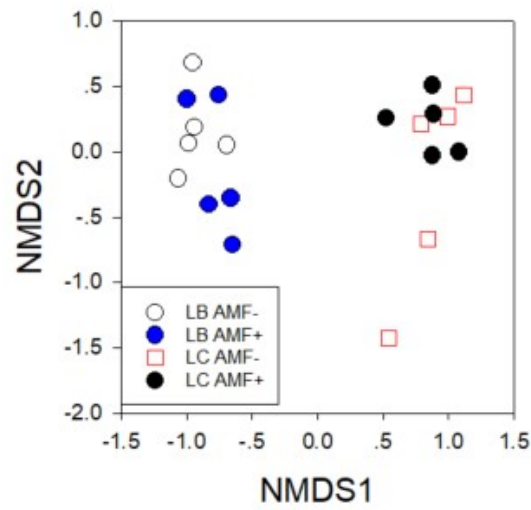


图 7 分解袋中土壤细菌群落的相似性分析

LB: 装有寄主植物鬼针草的分解袋; LC: 装有寄主植物南方菟丝子的分解袋;
AMF-: 转生长管减少了 AMF; AMF+: 未转生长管, AMF 未降低

3.2 南方菟丝子寄生对 AMF 调控凋落物降解的影响

3.2.1 寄生和 AMF 对分解袋内 ¹⁵N 剩余百分比的影响

在寄生的单因素作用，其对分解袋内 ¹⁵N 剩余百分比没有显著性影响，而在 AMF 的单因素作用影响下，其对分解袋内 ¹⁵N 剩余百分比存在显著性影响，寄生和 AMF 的交互作用对分解袋内 ¹⁵N 剩余百分比没有显著性影响（表 3）。在转生长管（AMF-）的情况下，寄生对分解袋内 ¹⁵N 剩余百分比不存在显著性影响。在不转动生长管（AMF+）的情况下，寄生对分解袋内 ¹⁵N 剩余百分比存在显著性影响。在寄生情况下，生长管转动对分解袋内 ¹⁵N 剩余百分比不存在显著性影响。在不寄生情况下，生长管转动对分解袋内 ¹⁵N 剩余百分比存在显著性差异（图 8）。

表 3 不同寄生处理和不同生长管转动处理对分解袋内 ¹⁵N 剩余百分比、总 N 剩余百分比、菌丝密度的影响

变量	变量来源	<i>d.f.</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
¹⁵ N 剩余百分比	Turned	1, 20	4.562	0.045
	Parasitism	1, 20	3.801	0.065
	Turned×Parasitism	1, 20	1.802	0.194
总 N 剩余百分比	Turned	1, 19	5.427	0.031
	Parasitism	1, 19	4.688	0.043
	Turned×Parasitism	1, 19	2.468	0.133
Log(菌丝密度)	Turned	1, 20	46.120	<0.001
	Parasitism	1, 20	5.930	0.024
	Turned×Parasitism	1, 20	10.742	0.004

注：菌丝密度进行了 log 数据转换。

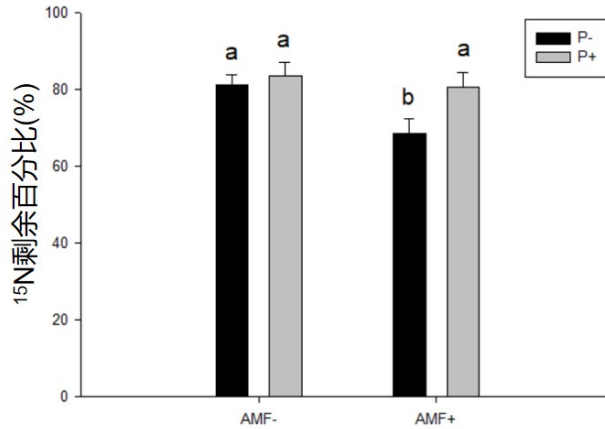


图 8 生长管不同转动处理和寄生处理对分解袋内 ^{15}N 剩余百分比的影响

注: AMF-: 转动生长管; AMF+: 不转动生长管; P-: 不寄生处理; P+: 寄生处理; 不同小写字母表示处理之间存在显著性差异。

3.2.2 寄生和 AMF 对分解袋总 N 剩余百分比的影响

在寄生和 AMF 单因素作用下, 其对分解袋总 N 剩余百分比存在显著性影响, 寄生和 AMF 的交互作用对分解袋总 N 剩余百分比不存在显著性影响 (表 3)。在转生长管 (AMF-) 的情况下, 寄生对分解袋总 N 剩余百分比不存在显著性影响。在不转生长管 (AMF+) 的情况下, 寄生对分解袋总 N 剩余百分比存在显著性影响。在寄生情况下, 转生长管对分解袋总 N 剩余百分比不存在显著性影响。在不寄生情况下, 转生长管对分解袋总 N 剩余百分比存在显著性差异 (图 9)。

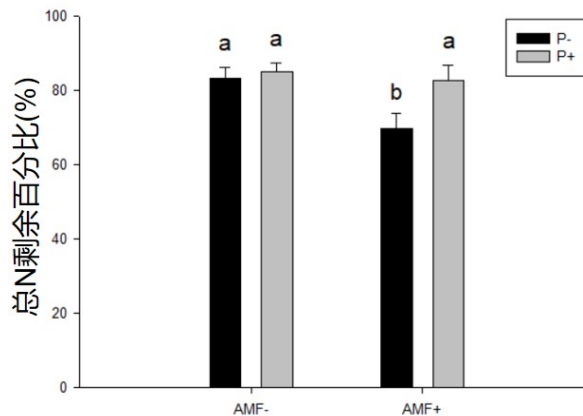


图 9 生长管不同转动处理和寄生处理对分解袋内总氮剩余百分比的影响

注: AMF-: 转动生长管; AMF+: 不转动生长管; P-: 不寄生处理; P+: 寄生处理; 不同小写字母表示处理之间存在显著性差异。

3.2.3 寄生和 AMF 对分解袋内菌丝密度的影响

在寄生的单因素作用, 其对分解袋内菌丝密度有显著性影响, 在 AMF 的单因素作用影

响下，其对分解袋内菌丝密度存在极显著性影响，寄生和 AMF 的交互作用对分解袋内菌丝密度有显著性影响（表 3）。在转生长管（AMF-）的情况下，寄生对分解袋内菌丝密度不存在显著性影响。在不转生长管（AMF+）的情况下，寄生对分解袋内菌丝密度存在显著性影响。在寄生情况下，转生长管对分解袋内菌丝密度存在显著性影响。在不寄生情况下，转生长管对分解袋内菌丝密度存在显著性影响（图 10）。

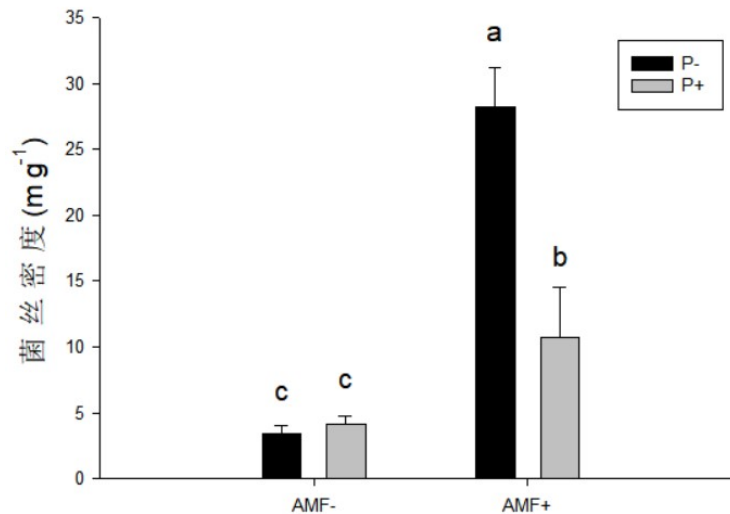


图 10 生长管不同转动处理和寄生处理对分解袋内菌丝密度的影响

浅：AMF-：转动生长管；AMF+：不转动生长管；P-：不寄生处理；P+：寄生处理；不同小写字母表示处理之间存在显著性差异。

3.2.4 寄生和 AMF 对分解袋内细菌群落的影响

只有在没有寄生的情况下，转生长管才显著增加了 *Bacillus*（芽孢杆菌属）的丰度(图 11，表 4)。只有在不翻转时，寄生才显著降低 *Shinella*（志贺氏菌属）的丰度(图 12，表 4)。转生长管和寄生对分解袋内的细菌群落的 α 多样性(Shannon 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数和观测的物种种类)没有显著影响(图 12)。方差分析结果显示，寄生对分解袋内细菌群落没有显著影响($p>0.05$)，但在没有寄生的情况下，转生长管对细菌群落有显著影响(图 13)。

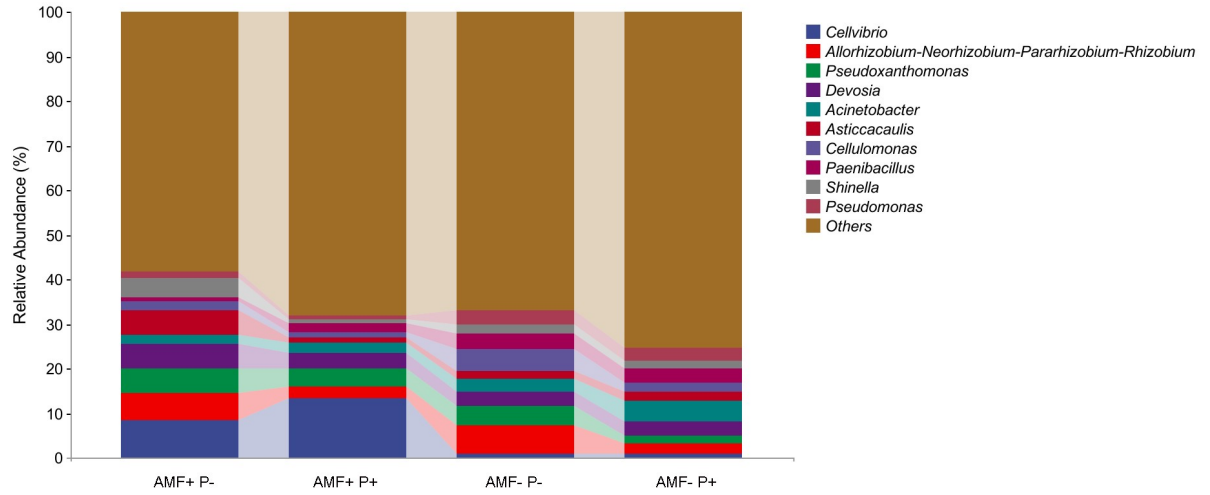


图 11 分解袋中土壤细菌类群在属水平上的平均相对丰度

AMF-：转动生长管；AMF+：不转动生长管；P-：不寄生处理；P+：寄生处理

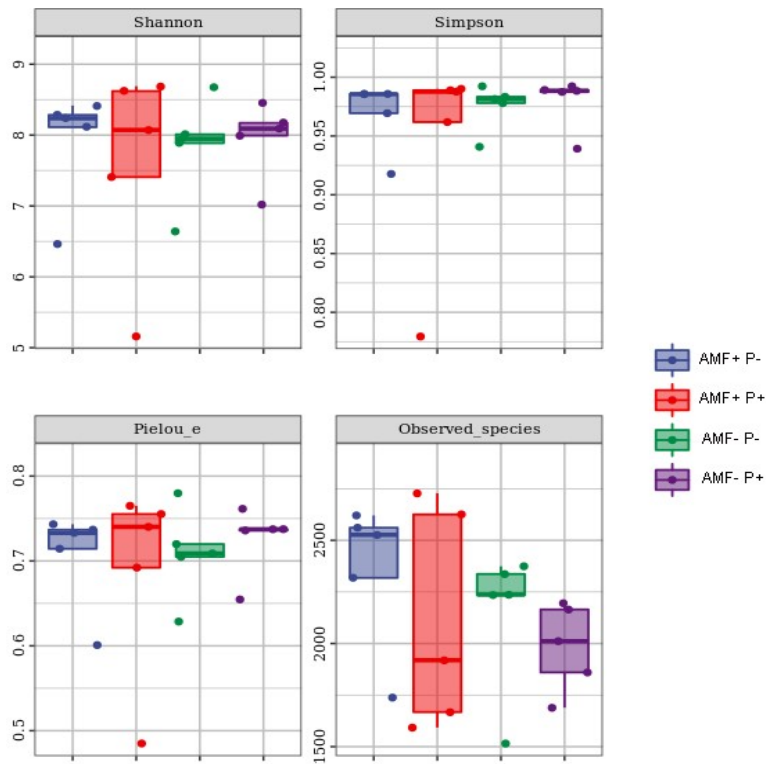


图 12 分解袋中土壤细菌群落的 α 多样性指数

AMF-：转动生长管；AMF+：不转动生长管；P-：不寄生处理；P+：寄生处理

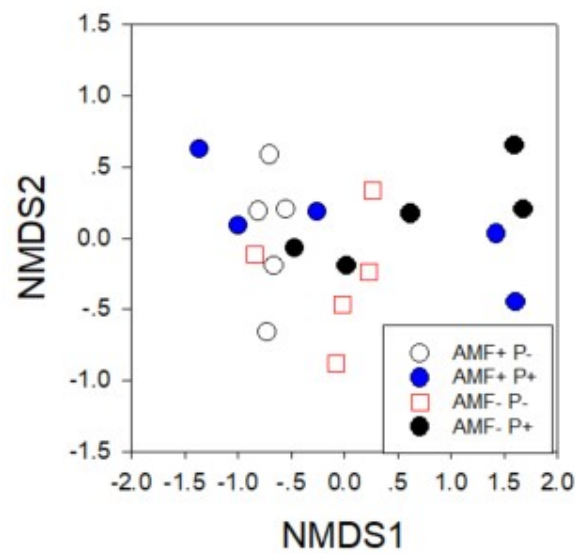


表 4 菌丝分解袋中土壤细菌属类群的平均 (\pm SE) 相对丰度

Treatments	<i>Cellvibrio</i>	<i>Allorhizobium- Neorhizobium- Pararhizobium- Rhizobium</i>	<i>Pseudoxanthomonas</i>	<i>Devosia</i>	<i>Acinetobacter</i>	<i>Asticcacaulis</i>	<i>Cellulomonas</i>	<i>Paenibacillus</i>	<i>Shinella</i>	<i>Pseudomonas</i>
AMF+ P-	0.083+0.051	0.063+0.012	0.054+0.015	0.057+0.010	0.020+0.006	0.054+0.021	0.021+0.011	0.009+0.002	0.042+0.009	0.017+0.003
AMF+ P+	0.133+0.103	0.027+0.010	0.039+0.017	0.035+0.014	0.023+0.007	0.014+0.008	0.010+0.003	0.019+0.008	0.010+0.007	0.010+0.001
AMF - P-	0.009+0.003	0.063+0.027	0.045+0.025	0.03+0.002	0.029+0.007	0.018+0.006	0.051+0.016	0.033+0.010	0.022+0.005	0.033+0.013
AMF - P+	0.008+0.005	0.026+0.012	0.016+0.008	0.030+0.017	0.047+0.010	0.022+0.014	0.019+0.005	0.031+0.004	0.018+0.009	0.029+0.009

注：AMF-：转动生长管；AMF+：不转动生长管；P-：不寄生处理；P+：寄生处理。数值为平均值 \pm SE。

表 5 寄主植物鬼针草凋落物和寄生植物菟丝子凋落物的化学质量

	鬼针草凋落物	菟丝子凋落物
^{15}N 浓度 (mg g^{-1})	0.06	0.07
总碳 (%)	44.26	48.48
总磷(%)	0.41	0.42
总氮 (%)	1.48	1.77
C:N 比	29.94	27.34
可溶性糖(mg g^{-1})	136.64	161.30
木质素 (mg g^{-1})	217.58	102.23
黄酮 (mg g^{-1})	28.19	4.01
生物碱 (mg g^{-1})	0.56	0.30

4 讨论

研究发现通过转动生长管来减少 AMF 菌丝密度可以显著降低寄主凋落物的分解，但不会降低菟丝子凋落物的分解。研究还发现，只有在不降低 AMF 的情况下，寄生才能显著抑制寄主凋落物的分解。这些结果揭示了寄生和非寄生凋落物不同分解的可能机制，也揭示了寄生效应影响凋落物分解的可能机制。之前的研究表明，寄生凋落物比寄主凋落物具有更高的分解能力，寄生凋落物的分解可以抵消寄生引起的负面影响^[31, 32]。我们的研究发现 AMF 对寄生凋落物的分解作用不明显，而对寄主凋落物的分解作用不明显。虽然这些结果与以前的研究不一致，但我们的结果表明，AMF 在寄生植物对土壤养分循环的寄生效应和凋落物效应中起着关键作用。

4.1 AMF 对不同寄生植物和寄主植物凋落物分解的影响

凋落物类型决定了凋落物分解微生物群落的结构和功能^[33]，因为分解过程中释放的营养物或次生代谢物会影响有机质对微生物分解者的适应性和吸引力^[34, 35]。我们比较了菟丝子和一个寄主凋落物的化学性质，发现菟丝子凋落物含有与寄主凋落物相似的 C/N/P 浓度（表 5），这与之前关于寄生凋落物比寄主凋落物积累更多养分的研究不一致^[30, 41]。然而，我们发现菟丝子凋落物的次生代谢物浓度明显低于寄主凋落物（表 5）。之前的研究表明，凋落物的次生代谢物可以影响微生物群的组成和功能^[37, 38]。例如，类黄酮可以加速细菌生长^[39, 37]，并刺激 AMF 孢子萌发^[40]。因此，我们推测，与菟丝子凋落物相比，寄主凋落物中较高的次生代谢物浓度可能会导致细菌的更高多样性，以及带有寄主凋落物的袋子中更高的 AMF 菌丝密度。由于细菌被认为在分解中起主要作用^[41]，细菌多样性和 AMF 菌丝密度的差异可能导致 AMF 对菟丝子凋落物和寄主凋落物分解的影响发生变化。未来的研究需要确认哪种化学物质决定了菟丝子凋落物袋中较低的细菌多样性和 AMF 菌丝密度。

4.2 南方菟丝子寄生对 AMF 调控凋落物降解的影响

由于寄生通常会对寄主的生长产生显著的负面影响，因此寄生可能会进一步导致 AMF 对分解的影响发生变化。我们的发现支持了这一点，即寄生降低了 AMF 菌丝密度，减少了凋落物分解。因此，我们认为 AMF 和寄生植物之间对碳的直接竞争可能会限制 AMF 的生长，从而抑制 AMF 对分解的影响。

5 结论

本实验研究了 AMF 和南方菟丝子寄生鬼针草对凋落物分解的影响，通过测定分解袋内

^{15}N 剩余百分比、总 N 剩余百分比、菌丝密度和细菌群落来探究 AMF 和寄生对鬼针草土壤养分循环的影响。结果表明：

- (1) AMF 可以显著降低寄主凋落物的分解，但不会降低菟丝子凋落物的分解。
- (2) 寄生抑制了 AMF 的生长，从而抑制 AMF 对分解的影响，减少了凋落物分解。

参考文献

- [1] Press M C. Dracula or Robin Hood? A functional role for root hemiparasites in nutrient poor ecosystems. *Oikos*, 1998, 82(3): 609-611.
- [2] 杨蓓芬, 李钧敏. 南方菟丝子寄生对 3 种入侵植物生长的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2012, 38(02): 127-131.
- [3] 阿马努拉·依明尼亚孜, 阿地力·沙塔尔, 何健霄, 王振振, 迪利夏提·哈斯木. 南方菟丝子寄生对苍耳属三种杂草生长发育的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(06): 170-175.
- [4] Wang J, Wang J, Zheng H, Zhu Y, Qiao N, Ge Y. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant diversity drive restoration of nitrogen-cycling microbial communities[J]. *Molecular ecology*, 2021, 30(16).
- [5] 李钧敏, 董鸣. 植物寄生对生态系统结构和功能的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(04): 1174-1184.
- [6] 封晔. 丛枝菌根真菌(AMF)对丹参根际土壤微生物及养分的影响[J]. 中国农业信息, 2017(20): 57-58.
- [7] Yu B, Brunel C, Yang B, Li J, Lu H. Parasitism by *Cuscuta australis* affects the rhizospheric soil bacterial communities of *Trifolium repens* L.[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 2019, 69(8).
- [8] Kohl L, Myers PA, Edwards KA, et al. Microbial inputs at the litter layer translate climate into altered organic matter properties. *Global Change Biology*, 2020, 27: 435-453
- [9] Lamont B B. Mineral nutrition of mistletoes. *The Biology of Mistletoes*. New York: Academic Press, 1983: 185-204.
- [10] Pate J S. Mineral relationships of parasite and their hosts. Press M C. Graves J D, eds. *Parasitic Plants*. London. UK: Chapman & Hall, 1995: 80-102.
- [11] Quasted H M, Cornelissen J H C, Press M C, Callaghan T V, Aerts R, Trosien F, Riemann P, Gwynn-Jones D, Kondratchuk A, Jonasson S E. Decomposition of sub-arctic plants with differing nitrogen economies: a functional role for hemiparasites. *Ecology*, 2003, 84: 3209-3221.
- [12] Quasted H M, Press M C, Callaghan T V. Litter of the hemiparasite *Bartsia alpina* enhances plant growth: evidence for a functional role in nutrient cycling. *Oecologia*, 2003, 135, 606-614.
- [13] Quasted H M, Press M C, Callaghan T V, Cornelissen J H C. The hemiparasitic angiosperm *Bartsia alpina* has the potential to accelerate decomposition in sub-arctic communities. *Oecologia*, 2002, 130: 88-95.
- [14] Bardgett R D, Smith R S, Shiel R S, Peacock S, Simkin J M, Quirk H, Hobbs P J. Parasitic plants indirectly regulate below-ground properties in grassland ecosystems. *Nature*, 2006, 439: 969-972.
- [15] 冷东. 丛枝菌根真菌对土壤有机物降解的影响[D]. 浙江大学, 2015.
- [16] 段嘉靖, 张勇, 郝龙飞, 王庆成, 剡丽梅, 何瑞雪. 丛枝菌根真菌和外生菌根真菌对凋落物分解的影响机制[J/OL]. 世界林业研究:1-11[2022-03-20].
- [17] Bezostek E R, Dragoni D, Brown Z A, et al. Mycorrhizal type determines the magnitude and direction of root-induced changes in decomposition in a temperate forest[J]. *The New Phytologist*, 2015, 206(4): 1274-1282.
- [18] Shen D, Ye C, Hu Z, et al. Increased chemical stability but decreased physical protection of

- soil organic carbon in response to nutrient amendment in a Tibetan alpine meadow[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 126:11-21.
- [19]赵双, 张涛, 石连旋, 郭继勋. 模拟增温和施氮条件下丛枝菌根真菌对草甸草原土壤团聚体稳定性和土壤碳储量的影响[J]. *中国草地学报*, 2021, 43(09): 97-106.
- [20]祁红英, 王其传, 吴亚胜, 赵政. 丛枝菌根真菌对番茄生长、根际酶活和微生物数量的影响[J]. *长江蔬菜*, 2017(24): 55-58.
- [21]李爱荣, 管开云, 隋晓琳, 黄新亚, Sally Smith, Andrew Smith. 丛枝菌根真菌与根部半寄生植物的关系:是敌是友?[C]. 中国菌物学会 2015 年学术年会论文摘要集.
- [22]Davies D, Graves J. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and the hemiparasitic angiosperm *Rhinanthus minor* during co-infection of a host[J]. *New Phytologist*, 1998, 139(3) : 555—563.
- [23]Gehring CA, Whitham TG. Reduced mycorrhizae on *Juniperus monosperma* with mistletoe: the influence of environmental stress and tree gender on a plant parasite and a plant fungal mutualism[J]. *Oecologia*, 1992, 89(2) : 298—303.
- [24]鲍根生. 寄生植物在生态系统中的作用与意义[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 2020, 50(03): 56-61.
- [25]Jakobsen I and Lkad Robson. 1992. External hyphae of vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. *New Phytologist* 120: 371-379.
- [26]Xu N, Tan GC, Wang H, Gai X, 2016. Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology* 74:1-8.
- [27]Callahan B, Mcmurdie P, Rosen M, Han A, Johnson A, Holmes S, 2016. Dada2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nature Methods* 13: 581–583.
- [28]Xu J, Liu S, Song S, Guo H, Tang J, Yong J, Ma Y, and Chen X. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi influence decomposition and the associated soil microbial community under different soil phosphorus availability. *Soil Biology & Biochemistry* 120:181-190.
- [29]Wagg C, Bender S F, Widmer F, and Heijden M. 2014. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 5266-5270.
- [30]Quesada H 2008. Parasitic plants—impacts on nutrient cycling. *Plant and Soil* 311: 269-272.
- [31]Demey A, Rutting T, Huygens D, Staelens J, Hermy M, Verheyen K, and Boeckx P. 2014. hemiparasitic litter additions alter gross nitrogen turnover in temperate semi-natural grassland soils. *Soil Biology & Biochemistry* 68: 419-428.
- [32]Ndagurwa H G T, Maponga T S, and Muvengwi J. 2020. Mistletoe litter accelerates the decomposition of recalcitrant host litter in a semi-arid savanna, south-west Zimbabwe. *Austral Ecology* 45: 1080-1092.
- [33]Wei H, Ma R, Zhang J, Saleem M, Liu Z, Shan X, Yang J, and Xiang H. 2020. Crop-litter type determines the structure and function of litter-decomposing microbial communities under acid rain conditions. *Science of the Total Environment* 713:136600.
- [34]Verbruggen E, Jansa J, Hammer E C, Rillig M C, and Vries F. 2016. Do arbuscular mycorrhizal fungi stabilize litter-derived carbon in soil? *Journal of Ecology* 104: 261-269.
- [35]Zhang M, Cheng X, Geng Q, Shi Z, Luo Y, and Xu X. 2019. Leaf litter traits predominantly control litter decomposition in streams worldwide. *Global Ecology and Biogeography*

- 28:1469-1486.
- [36]Ndagurwa H G T, Maponga T S, and Muvengwi J. 2020. Mistletoe litter accelerates the decomposition of recalcitrant host litter in a semi-arid savanna, south-west Zimbabwe. *Austral Ecology* 45: 1080-1092.
- [37]Zhang X, Wang B, and Liu Z. 2018. Impacts of plant secondary metabolites from conifer litter on the decomposition of *Populus purdomii* litter. *Journal of Forestry Research* 30:2237-2245.
- [38]Jacoby R P, Koprivova A, Kopriva S, and Hancock R. 2021. Pinpointing secondary metabolites that shape the composition and function of the plant microbiome. *Journal of Experimental Botany* 72:57-69.
- [39]Kong C, Wang P, Zhao H, Xu X, and Zhu Y. 2008. Impact of allelochemical exuded from allelopathic rice on soil microbial community. *Soil Biology and Biochemistry* 40:1862-1869.
- [40]Tian B, Pei Y, Huang W, Ding J, and Siemann E. 2021. Increasing flavonoid concentrations in root exudates enhance associations between arbuscular mycorrhizal fungi and an invasive plant. *The ISME Journal* 15:1919-1930.
- [41]Gui H, Purahong W, Hyde K D, Xu J, and Mortimer P E. 2017. The arbuscular mycorrhizal fungus *Funnelformis mosseae* alters bacterial communities in subtropical forest soils during litter decomposition. *Frontiers in Microbiology* 8.
- [42]Huygens D, Staelens J, Hermy M, Verheyen K, Boeckx P. 2014. Hemiparasitic litter additions alter gross nitrogen turnover in temperate semi-natural grassland soils. *Soil Biology & Biochemistry* 68: 419-428.

致谢

相逢一见太匆匆，校内繁花几度红。是心湖水街的蛙声，是操场挥洒的汗水，是伊人在伴的幸福，是宿舍每日的嬉笑。文行至此，笔落之处，也意味着我的大学生活即将结束，目光所及，皆是回忆，既知雨雷将鸣，携酒踏歌行。二十载求学路，如梦如幻，真是感慨时间的力量。

欲买桂花同载酒，只可惜故人，何日再见啊。回想初到学校认识的 55 位同学、诲人不倦的老师，各种回忆仿佛近在眼前纯真美丽，忘不了早八的忙忙碌碌，忘不了教学楼每日的灯火通明。当年总是不以为然，总觉来日方长，回首望去，皆已成过往，现在才知人生是减法。学位论文的完稿为我的大学本科学习生活画上了一个圆满的句号。

桃李不言，下自成蹊。首先，我真诚的感谢我的导师李钧敏。在近一年中，李老师在百忙之中依旧对我的论文悉心指导，她认真负责的工作态度，以及待人真诚和善的品格，给我留下了深刻的印象，是我终身学习的榜样。在此，特向我的导师李钧敏致以最真挚的谢意和敬意。

其次，我还要感谢我的老师袁永革，在四年的大学生涯中，小袁老师教会了我很多，有植株的栽培，样本的处理，溶液的配制，仪器的使用，还有生活的方方面面，这些都值得我学习的。在我写论文的这一段时间里，更是对我关爱有加，仔细的帮我校对订正论文，教我处理数据，教我修改论文中的细节，其实老师你不用因为催我而觉得抱歉，相反这更让我觉得你是一位好老师好大姐。同时，还要感谢小袁老师的好闺蜜小菜老师，她教会我在生活中要乐观，沙子本身朴实无华，因为遇见了蚌，才能变成珍珠，是她让我明白了要乐观的看待世界，世界也会报之以彩虹。春来夏往，冬收秋藏，我们亦师亦友，我们依旧来日方长。

再次，感谢陪伴了我四年生活的室友，以及我的好友高英杰，在我的生活和学习上给予我巨大帮助，不仅仅是陪伴，还有心灵上的相惜，大学四年我们从刚开始的相互认识相互磨合一直到现在理解包容和无话不谈，不负遇见，不谈亏欠。假使有一天不得不与你相别，你在我的记忆力，也会如黄金般闪耀。

同时，我还要感谢我的父母，生活让我懂事起来，生活也让父母变得苍老了许多，看着老妈脸上的皱纹和老爸开始变白的头发不由的心疼起来，他们是那么的爱我，他们把最好的都给了我。父母如月，无闻淡雅，即使在最阴霾的日子里，也能给予我希望的光。

最后，我要感谢我的女朋友严海媚。不知不觉我们成为情侣都快两年了，还有几天就是我们的二周年纪念日了，这两年我们有甜蜜的时候，我们也有吵架的时候，在这里我先给你

说一句抱歉，我不应该这样对我喜欢的女孩，同时你也是我大学生活里最重要的宝藏，你教会了我对待感情的态度和责任。谢谢你这么的温柔，有幸遇见你就是上天给我最好的安排。

沿途走来，这四年中有着各种各样的别样的风景，它们交互相融，都是我值得细细品味的瑰宝。祝福吾师，身体健康！祝福吾友，前程似锦！祝福吾校，培育英才！

山水相逢，终有一别，我们后会有期。