

真菌及其作为微生物肥料的潜力

菌根真菌

1. 菌根共生对植物生长的好处

对菌根共生的好处提供一个广泛的综述并不是我们的意图。我们将简要总结现有文献，特别强调提高作物产量和在设计生物肥料方面可能有用的潜在应用。要获得更深入的评论，我们建议读者查阅大量已出版的关于菌根共生对植物生长和性能的重要性和益处的书籍。

菌根真菌与绝大多数陆地植物形成互惠共生，可能超过 80% 的陆地植物形成菌根共生。菌根共生的范围强调了真菌共生在植物生产和生理方面的古老进化历史和潜在的重要性。植物与根系定植菌根真菌之间的关系是一种功能性共生关系，其中菌根真菌专性地或兼性地依赖于宿主的光合产物和能量。植物获得的碳被用来交换宿主植物的各种菌根收益。真菌菌丝体从根表面延伸到土壤基质中，从土壤溶液中捕获养分。菌丝的极小直径增加了植物获取营养的表面积。由于更有效地吸收养分，当菌根菌定植根系时，植物生长通常得到改善。

虽然宿主-真菌种类组合和环境因素可能导致宿主对接菌根反应的变化，但在实验室和温室实验中很容易证明产量的增加。菌根共生的其他好处包括增加对重金属污染或干旱的耐受性，以及降低对根病原体或食草动物的敏感性。菌根真菌也可以通过直接影响土壤聚集来改善土壤质量，从而改善通气和水分动态。菌根真菌的一个有趣的潜在应用是，它们能够使植物获得宿主植物通常无法获得的营养来源。例如，作物在接种菌根真菌时可以利用不溶性的磷源，但在不接种时就不能利用了。

综上所述，菌根共生对植物性能和作物产量的各种潜在效益表明，它们在农业和土地复垦或植被恢复方面有大量应用。然而，我们确实同意 Ryan 和 Graham(2002) 的结论，即菌根接种方法通常与工业化规模的农业不相容，但它们可能在替代农业和园艺实践中得到应用。

2. 丛枝菌根真菌作为生物肥料的使用

丛枝菌根 (AM) 真菌的不可培养性和专性活体营养阻碍了大规模接种计划的发展。生产侵染繁殖体的唯一可行方法是在与活的宿主植物共生或在根器官培养中

培养接种体，换句话说，绝不可以没有活的宿主组织的情况下培养。虽然这种生产系统的优点是允许对接种物的侵染能力进行连续监测，但其主要缺点为生产成本大、周转时间慢、难以排除根病原体等。

AM 接种物可以为孢子、AM 真菌定植的根片段或两者相结合，也可与土壤菌丝结合。从土壤基质中分离出 AM 孢子和菌丝，并与载体基质混合。常用的载体包括浮石或粘土、沙子、珍珠岩、蛭石和土壤或玻璃颗粒。AM 分类群和菌株定殖寄主植物的能力可能不同，这取决于接种物来源。孢子可能是各种 AM 类群中最可靠的接种源，而定植的根片段对某些类群有效，但对其他类群无效。也可以使用整个基质作为接种物，均质成一个粗糙的土壤载体，包括植物根和真菌孢子以及土壤菌丝。替代方法包括无土气栽法、营养膜和根器官培养系统已经被实验性地尝试过，但这些方法的高昂的成本似乎使其无法实现。此外，使用这些替代方法的接种剂的大规模生产还没有发展起来。

考虑到生产接种剂的高成本和困难，对 AM 接种的需要应仔细评估。需要考虑的决定因素包括：作物对 AM 接种的预期反应、土居接种物的有效性和替代措施，如种植制度管理对 AM 接种的维持。最近的证据还表明，与一般的假设相反，AM 真菌可能具有有限的宿主特异性。AM 真菌中宿主特异性模式的可能性强调了每种接种的菌株和分类群选择的重要性。虽然 AM 接种在商业上是可获得的，大规模接种还没有成为实际或可实现的日常农业实践。因此，AM 接种已经限制了高价值苗木的生产。在这样的苗圃应用中，接种往往是非常有利的，导致促进作物生长、更出色的发育和均匀的最终产品。由于农业实践中 AM 接种剂生产与实际应用的缺乏，对土居真菌的保持进行管理的重要性就必须强调。不同接种剂和土地管理措施潜在的和实际的好处在其他文献中已经被回顾和讨论。我们只总结了一些一般性建议。间作或连续种植制度下的连续植被覆盖可使土壤保持足够的接种水平。同样，尽量减少土壤干扰如免耕等，可支持本地接种物。

由于磷经常抑制 AM 定植，也需要避免大量施肥。最后一点强调了农业系统中更广泛地接种 AM 的管理实践的重要性，这可能不允许经济上可行的商业肥料的应用。在严重依赖 N 和 P 施肥的集约化农业系统中，AM 接种管理不太可能证明具有成本-效益性。

AM 接种的一个方面最近才受到关注，那就是土壤中真菌的多样性和群落的需求。

要。Klironomos 等人得出结论,大量接种的真菌显著提高了植物群落的产量。菌根多样性增加的影响可以归因于功能互补性:不同的真菌可能在其自然环境中执行不同的任务。虽然仅有有限的文献支持 AM 真菌的宿主特异性模式,但最近的证据表明,不同 AM 真菌在提高宿主产量和/或养分利用能力方面的作用是不同的。这些效应的机制至今仍不清楚,但有可能在建议大规模接种计划之前,有必要对每一种作物进行测试,甚至可能是品种。这样就可以在不同的环境条件下识别出最有效的宿主品种和真菌菌株组合。

3. 外生菌根真菌作为生物肥料的应用

弗兰克已经假设了外生菌根(EM)共生对树木生长和养分获取的重要性。因此,将 EM 真菌接种纳入苗圃或林业种植实践的技术发展历史悠久。一般证据表明,除非当地有地方性的或接种的 EM 真菌,否则树木人工林将会失败。对于一个大规模接种实践,接种 EM 真菌的选择主要地基于树木的增产和/或适应性。

虽然各种替代品已经被使用和调查,但是最广泛的接种方案已经为 *P. tinctorius* 开发出来。使用 *P. tinctorius* 的主要优势包括:其宽广的寄主范围和广泛的地理分布,以及它的抗干扰、干旱、高温和/或化学污染物影响的能力。以泥炭蛭石为载体,可以营养菌丝生产和应用 *P. tinctorius* 接种体。营养液-*P. tinctorius* 在整个基质中进行营养生长所必需的-它也有助于竞争性地排除其他根系定植真菌。已经开发了各种替代的接种技术和配方。尽管液体或孢子悬浮技术可以避免固体接种量大、贮存量大的问题,经它们也遇到了常出现 EM 定植延迟(担子孢子接种)或菌丝破碎(无菌液体培养技术)的问题。

EM 真菌的接种方案已经取得了一些成功。然而,与 AM 或细菌接种应用一样,似乎没有单一的真菌种类或菌株可以在不同的位点和宿主物种中普遍应用。与美国西北部的当地菌株和物种相比,*P. tinctorius* 已经被证明对幼苗生长和定植非常的有利,而在其他地点似乎没有那么有利。在许多情况下,易于在苗圃中幼苗上定植,并易于操作的菌株,对种植幼苗的表现只有有限的积极影响。这些被选为接种方案的真菌的有限成功可能仅仅是因为重新造林地点的地方性菌根真菌的普遍存在,以及苗圃接种的真菌在野外遇到竞争性排斥。因此,EM 真菌的接种是重要的-在没有造林历史的地点,或在之前的非林地上建立人工林。

在森林苗圃接种规划发展的研究中,引入的或可能入侵的 EM 真菌对当地真菌

及其群落组成的影响一直受到较少关注。接种的真菌可以在根系中存活较长时间，并胜过入侵性较弱的地方性菌株和物种。虽然没有直接证据表明这种竞争排斥目前存在，引种可能同质化当地真菌种群和群落。例如，进口和种植在美国的桉树通常支持一种假块菌-*Hydnangium carneum* 的广泛殖民。类似地，可能与软木橡树一起从欧洲进口的白毒伞(*Amanita phalloides*)正在加利福尼亚的原生橡树林中蔓延。问题是这些成功的入侵者是否对本土 EM 群落产生了负面影响。

4. 其他根部定植的真菌

所有高等和低等植物的根系都支持真菌群落-它们由占据根际或根平面环境的真菌和在细胞间和细胞内与植物的根形成密切共生关系的真菌组成。一般公认的这些与根系相关的真菌群落具有多样性。然而，人们对这些群落的功能以及群落中个体物种的功能知之甚少。对从根环境中分离出来的真菌的研究提供了不一致的结果，这并不奇怪。即使对相当有限数量的变形类群或有限数量的真菌菌株进行研究，也会产生不一致的结果。最重要的是，这些群落包含了巨大的多样性，并且包含了可能有利于生物肥料应用的物种。基于相当有限的现有研究，根系定植各种各样的真菌带来的好处与报道的菌根共生类似。与根系相关的真菌通过促进植物生长和作物产量和减少根系病原体感染使植物受益。最近的研究还表明，这些真菌可能改善植物的养分吸收，或允许植物获得其他不可利用的营养来源。不仅在受控的实验室或温室研究中，若干源自作物根部的菌株已证明能够在田间条件下促进植物生长和作物产量。

在开发这些各种潜在有益真菌的接种方案方面所做的努力很少。尽管这些真菌很容易培养，由此在接种应用中也很容易操纵，但接种存在的问题与根系相关细菌和菌根真菌类似。有益的影响-促进或其他可以是高度可变的，取决于宿主基因型和选择的真菌菌株或物种，并可以改变植物发育或环境条件。然而，许多这些真菌的普遍存在和可能的全球分布表明了巨大的环境耐受性。这一点，加上缺乏宿主特异性，使这些真菌成为一个具有巨大潜在价值的群体。