

DOI:10.11937/bfyy.201514047

# 丛枝菌根在退化生态系统恢复中的作用及其研究展望

曹丽霞, 福英, 侯伟峰, 乌恩

(内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘 要:**丛枝菌根是自然生态系统的重要组成部分,具有多种生理生态功能。近年来的生态环境破坏和退化问题使退化生态系统的菌根修复研究逐渐成为国内外关注的热点。该研究综述了丛枝菌根对植物个体养分吸收、抗逆性、生长发育、植物多样性、群落生产力、土壤系统以及对生态系统稳定性的生理生态功能,探讨了国内外当前关于丛枝菌根在退化生态系统修复与重建中作用的研究现状及存在的问题,并对未来退化生态系统恢复中的菌根研究进行了展望。

**关键词:**丛枝菌根;退化生态系统;恢复;作用;展望

**中图分类号:**Q 949.32 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)14-0182-08

生态系统是人类赖以生存的环境,近年来,由于全球变暖、气候干旱等自然因素和人类活动的不断加强,导致了一系列生态环境问题,如草原“三化”,森林减少,水土流失,北方荒漠化,南方石漠化以及各种废弃地、污染地的增加等,致使生态系统的服务功能减弱甚至丧失,生态效益和社会效益降低,生物多样性减少,抵抗灾害的能力下降,威胁到人类的生产、生活和生存健康。植被重建是恢复退化生态系统的首要任务,丛枝菌根在植被重建和退化生态系统的恢复中起到重要作用,有关研究受到国内外学者的空前重视<sup>[1-3]</sup>。

丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza,简称AM)真菌是自然生态系统的重要组成部分,能与地球上大约90%的维管植物共生形成AM<sup>[4]</sup>。在这种真菌-植物共生关系中,AM真菌利用宿主植物的光合产物来满足自身生长繁殖需要的同时,运送土壤中的养分、水分到宿主根部供宿主植物吸收和利用<sup>[5-6]</sup>。AM真菌不仅对植物养分吸收、水分吸收、抗逆性及生长发育有重要作用,而且通过菌丝网、分泌物等改善土壤结构,调节植物竞争与共存,提高多样性,维护生态系统的稳定性和健康。因此,加强退化生态系统菌根系统的受损与恢复以及退化生

态系统AM修复技术的研究,对恢复退化生态系统及其功能具有重要意义。

## 1 丛枝菌根对陆地生态系统的重要作用

### 1.1 丛枝菌根对植被的重要作用

1.1.1 丛枝菌根对植物个体的重要作用 1)促进植物对矿质元素的吸收:AM是典型的互惠共生体,前人的大量研究表明,促进植物对养分的吸收是AM真菌对植物最直接的作用<sup>[7]</sup>。AM菌丝的存在增加了其宿主植物根系的养分吸收面积,可以吸收因宿主植物根系的直接吸收而形成的养分匮乏区以外的养分,从而为宿主提供更多的养分。AM的作用突出表现在改善植物的磷素营养上,LI等<sup>[8]</sup>关于将三室隔网的外室长度加宽后的研究发现,摩西球囊霉形成的根外菌丝能将根系的磷吸收范围增大60倍。AM也能促进植物对氮的吸收,提高土壤氮的有效性,且豆科植物形成菌根还可促进根瘤固氮<sup>[9]</sup>。此外,AM还能够改善植物钙、硫、铁、硼、锰、铜、锌等中量及微量元素的营养状况<sup>[5]</sup>。例如,乌恩等<sup>[10]</sup>的研究发现在低磷土壤中菌根接种可以促进鸭茅(*Dactylis glomerata* L.)对钙的吸收;LI等<sup>[8]</sup>通过隔网盆栽的试验发现,菌丝吸收的铜和锌占白三叶(*Trifolium repens* L.)地上部分铜和锌总量的百分比分别达50%和60%。2)提高植物的抗逆性:AM能促进植物的水分吸收,提高其抗旱能力。AM能提高植物抗旱性的机理主要是利用菌丝对养分的吸收作用,改善宿主体内矿质营养(尤其是磷)和内源激素水平,提高植株的气孔导度、蒸腾作用及净光合速率,从而影响宿主植物的水分代谢,提高其抗旱能力<sup>[11-14]</sup>。MORTE等<sup>[14]</sup>的研究证实,AM的感染率不受水分胁迫的影响,菌根共生植物在水分胁迫

**第一作者简介:**曹丽霞(1988-),女,内蒙古清水河人,硕士研究生,研究方向为草地营养和草地菌根。E-mail:caolixia1024@163.com.

**责任作者:**乌恩(1961-),男,蒙古族,博士,教授,硕士生导师,现主要从事草地营养和草地菌根及退化草地修复等研究工作。E-mail:wuen2004@163.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31060319)。

**收稿日期:**2015-01-28

下,其气孔导度、蒸腾作用和净光合速率分别增加了45%、92%和88%;菌根的存在使糖的积累量增加、叶片的水势降低<sup>[15]</sup>;提高植株超氧化物歧化酶(SOD)的活性,将进一步降低干旱对宿主植物的胁迫程度<sup>[16]</sup>;扩大了根系吸收范围、增强了根系吸收性能,从而加强了植物对水分的吸收能力。干旱条件不利于植物的生长,但对于菌根侵染率和菌丝发育的影响较小,在土壤缺水时,AM真菌通常会增加宿主植物的生长素、细胞分裂素和赤霉素等物质的含量而减少脱落酸的含量<sup>[17]</sup>,这种机制对于干旱区的植物水分代谢非常重要。AM能增强牧草抗盐碱性。在盐碱土壤中,甚至在盐湖地区都有AM真菌的孢子被发现<sup>[18]</sup>。冯固等<sup>[19]</sup>通过对无芒雀麦(*Bromus inermis* Leyss.)的研究表明,盐水平提高2倍时,菌根效应也随之提高1倍。唐明等<sup>[20]</sup>发现,一些被认为不能或不易形成AM的莎草科(Cyperaceae)和藜科(Chenopodiaceae)植物,在内蒙古盐碱土中也能被AM真菌侵染,形成了典型的AM结构,表明菌根与它们的耐盐碱性有关。盐碱胁迫下,AM真菌对植物的促进作用被认为是通过改变宿主体内的氨基酸、碳水化合物的组成及含量,从而改变根组织中的渗透平衡,减少植物对Cl<sup>-</sup>和Na<sup>+</sup>的吸收,进而降低了Cl<sup>-</sup>和Na<sup>+</sup>的相对含量及酶受离子、质膜损伤的程度,减轻了由离子引起的生理毒害作用,使植物的耐盐性得到有效提高<sup>[17,21-23]</sup>。FENG等<sup>[24]</sup>的研究表明,宿主体内可溶性糖含量的增加也是菌根植物耐盐性强的一个原因。AM能提高宿主的抗病性。大量研究结果显示,AM真菌的存在能够增强多数宿主植物的抗病性能。胡正嘉等<sup>[25]</sup>、刘润进等<sup>[26]</sup>关于AM抗病性的研究证明,棉花的黄萎病病情指数在接种AM真菌后显著降低。VIGO等<sup>[27]</sup>通过接种摩西球囊霉从而实现对马铃薯病原物的控制,结果显示根部的坏死斑数明显减少。此外,AM可在一定程度上抑制多年生草地植物土传病的发生。关于AM真菌能够增强宿主抗病性机理的研究显示,AM真菌与病原菌竞争根系侵染位点,从而抑制了病原菌的入侵和繁殖,减少了病害的发生<sup>[28]</sup>。此外,病原微生物会受到AM产生的一系列抗生物质等的抑制<sup>[29]</sup>;宿主细胞内的碳水化合物浓度因AM真菌的消耗而降低,对病原菌的生长发育也起到了限制作用。AM能提高植物抗重金属病害能力。与土壤中其它微生物相比,AM真菌与宿主根系形成的菌丝体对重金属具有更高的吸附能力,且被菌丝体吸附的重金属可聚集在宿主的根细胞而不向植株地上部分运输,从而可以减轻因重金属超标而对植物造成的伤害<sup>[30-31]</sup>。例如,VIVAS等<sup>[32]</sup>研究发现,在Zn胁迫下接种了AM真菌后,AM有效地阻挡了Zn进入根部,植物组织内Zn含量显著下降,而生物量显著上升。AM能增强植物的抗酸性。AM能够缓解酸性土壤中的宿

主植物受到的Al<sup>3+</sup>毒害<sup>[22]</sup>,提高植物的抗酸能力<sup>[33-34]</sup>。乌恩等<sup>[34-35]</sup>通过对酸化人工草地入侵杂草黄花草(Anthoxanthum odoratum L.)的研究发现,因其菌根共生不受土壤酸化的影响,给予其在酸性环境中的养分吸收能力和酸性抵抗能力,从而使其在严重酸化的人工草地上迅速扩大并成为优势种。AM能增强植物对极端温度的耐受能力。赵士杰等<sup>[36]</sup>关于AM提高植物抗冻性的研究发现,在低温环境下,韭菜接种AM真菌可减轻其细胞膜的受低温冷害程度,增强其抗冻性。陈笑莹等<sup>[37]</sup>的研究显示,AM真菌能够通过提高叶绿素浓度,改善植物叶片叶绿素荧光和光合作用,减缓玉米植株因受到高温胁迫而形成的伤害,增强了植株的耐高温能力。3)促进植物的生长发育:众多研究表明,AM真菌对植物生长发育的促进作用是通过提高植物对矿质养分、水分的吸收和增加植物的抗逆性等实现的<sup>[38]</sup>。贺忠群等<sup>[39]</sup>的研究表明,菌根侵染率与番茄生长有显著正相关关系。促进宿主植物地上部的生长发育、增加地上与地下生物量的比值,是AM影响植物生长发育的主要表现<sup>[5-6]</sup>。菌丝对植物各部分光合产物的消耗表现为地下部大于地上部,因此在贫瘠特别是缺磷的土壤中,宿主为了生存会优先菌丝的生长而抑制根系的生长,通过菌丝吸收并积累其生长发育所需养分。乌恩<sup>[40]</sup>的研究结果表明,鸭茅在低磷土壤中接种AM真菌处理的根长显著小于未接种处理,而地上部生物量差异较小。李雪松等<sup>[41]</sup>的室内试验显示,接种AM真菌对不同紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)地上部的生长有明显的促进作用,接种处理不同程度的增加了植株氮、磷素浓度,在大田条件下苜蓿接种AM真菌是否有此效应有待进一步探讨。AM真菌还能通过自身合成或刺激宿主产生一些次生代谢物质和内源激素对宿主体内的激素水平进行调节<sup>[42]</sup>,从而促进宿主萌发、生根和生长。刘润进等<sup>[43]</sup>关于内源激素的研究发现,不同水分条件下接种AM真菌,棉花和玉米植株内生长素、赤霉素和玉米素的含量显著增加,而脱落酸的含量减少。

1.1.2 丛枝菌根对植物群体的重要作用 1)调节植物种间关系,增加植物多样性。在自然生态系统中,AM真菌与宿主之间的专一性不强,可同时侵染不同宿主植物,在其之间形成菌丝体网络,将大量的不同植物个体联系起来。因而,植物群落中形成AM的不同植物个体会通过其地下的菌丝体网络连进行物质和信息交流。AM真菌通过其地下菌丝体网络调节相邻植株之间的资源,从而引起资源的不均衡分配,对植物之间的竞争与共存产生一定影响,调节群落内不同物种间的竞争格局<sup>[44]</sup>。FITTER<sup>[45]</sup>研究发现,与被AM真菌侵染前相比,多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)和绒毛草(*Holcusla natus*)被AM真菌侵染后,绒毛草的养分吸收能

力、生长状况及根冠比均低于黑麦草,二者之间的竞争平衡受到影响,AM增强了黑麦草的竞争能力。还有研究显示,AM的形成受到抑制后,菌根依赖性较高的植物通过菌丝体获取养分和水分的能力减弱,进一步降低了其在群落中的竞争力,间接提高了对菌根依赖较低植物的竞争力,进一步改变群落中植物的比例<sup>[46-47]</sup>。对委内瑞拉不同植被的森林和稀树草地的研究也得出相似结果:在大多数情况下,未被AM真菌侵染的植物其竞争力远低于与AM真菌共生的植物<sup>[48]</sup>。但随时间的增长,AM真菌对宿主植物的这种促进作用会逐渐下降,这种动态变化有利于大生态系统中植物区域群落物种多样性的保持<sup>[49]</sup>。BERGELSON等<sup>[50]</sup>进一步证实不同植物种间共享的菌丝桥可双向传递碳水化合物,促进群落优势种与其它植物共存,从而增加了生态系统中的植物多样性。2)影响群落结构,提高群落生产力。群落结构随着植物多样性的变化而改变。AM利用菌丝桥来调节植物所获得的资源,影响植物之间的竞争格局,降低优势种的优势度,从而使群落形成更加稳定的结构,利于生态系统的可持续性。AM通过提高宿主养分、增强其抗逆性、促进其生长发育、调节植物群落结构和改善土壤环境等提高群落生产力<sup>[51]</sup>。WILSON等<sup>[47]</sup>的研究结果显示,抑制AM的形成后,群落中的2种豆科牧草存活率及该群落总的地上生物量显著降低。乌恩<sup>[40]</sup>对退化人工草地调查发现,草群结构、产量及群落分布均与菌根密度有显著相关性。菌根的存在有利于草地上菌根依赖性高的豆科牧草的维持,从而改善草地群落结构的合理性,提高牧草质量和草地产草量。此外,AM真菌具有丰富的种质资源,AM真菌的多样性也影响着植物多样性和群落生产力。NEWMAN等<sup>[52]</sup>发现在草地生态系统中,车前草属(*Plantago lanceolata*)植物的丰富程度与AM真菌的丰富程度有密切关系。AM真菌丰富度越高,群落生产力越高。

## 1.2 丛枝菌根对土壤的重要作用

1.2.1 改善土壤结构 AM的形成有利于稳定土壤结构的形成和保持,土壤微粒可通过AM的菌丝及其分泌物的作用结合而形成团聚体。杨宏宇等<sup>[48]</sup>的研究表明,有菌根植物生长时,土壤的团聚体、总孔隙度和渗透势都优于无菌根植物生长的土壤。一般认为,土壤中的AM和根外菌丝可形成巨大的菌丝网络,通过缠绕、网织等物理作用直接促进土壤团聚体的形成<sup>[53]</sup>。TISDALL<sup>[54]</sup>的盆栽试验表明,不同的菌丝体长度对土壤团聚体的耐水性提高程度不同,从而提出土壤团聚体Hierarchical理论:AM菌丝体对土壤团聚体的形成和稳定有着重要的作用。根据Hierarchical理论,土壤团聚体是由植物根系和以AM真菌为主的菌丝体缠绕微团聚体而成。WRIGHT等<sup>[55]</sup>关于土壤结构的研究认为,土

壤中水稳态结构的形成与由AM真菌菌丝体产生的一类糖蛋白有关。RILLIG等<sup>[56]</sup>甚至认为,球囊霉素相关土壤蛋白对土壤水稳态团聚体的形成及维持的作用远大于菌丝对其的物理缠绕作用。

1.2.2 促进土壤矿质元素的转化 土壤中的矿质营养物质,只有处于可溶状态才有可能被植物吸收利用。AM真菌对土壤养分的吸收及活化具有一定的作用,可促进土壤中难溶态的矿化物向可溶态营养元素的转化。一般情况下,土壤中95%~99%的均处于难溶态,植物很难吸收利用。难溶态的磷能在AM真菌产生的磷酸酶的作用下转化为可溶态的磷,并在菌丝的液泡内以颗粒状的聚磷酸盐存在,供宿主植物利用。NOYD等<sup>[57]</sup>通过在缺磷矿渣地上对比植物不接种和接种AM真菌时的生长发现,未接种植物茎中的磷浓度和干重显著低于接种植物。

1.2.3 提高土壤微生物的活性 土壤微生物在维持土壤质量中起着重要作用,是土壤-植物体系中物质循环和能量流动的主要动力。AM真菌的接种可引起根区酶活性、微生物组成及数量的改变,进而影响土壤养分的有效性。潘超美等<sup>[58]</sup>的研究显示,AM真菌的侵染会降低根际土壤中真菌的数量,而细菌、放线菌及固氮菌的数量显著增加。宋福强等<sup>[59]</sup>对大青杨接种AM真菌后根围土壤变化的研究发现,AM在增加根际细菌、放线菌及固氮菌等数量的同时也增加了根围土壤脲酶、磷酸酶、蛋白酶的活性。

## 1.3 丛枝菌根对生态系统的综合作用

综上所述,AM真菌的存在与否或其多样性可以对宿主水平效应、菌丝效应、土壤养分有效性、土壤微生物群落组成以及植物多样性、群落组成等产生影响,增加生态系统中的群落多样性<sup>[60]</sup>。众多研究表明,植物群落的多样性越高,群落生产力越大,群落的稳定性和抗入侵能力也越强,从而使生态系统更加稳定<sup>[61-62]</sup>。石伟琦<sup>[63]</sup>对内蒙古草原的大针茅群落作了相关研究,认为AM的存在会使群落内不同种植物的生物量及营养物质含量实现再分配,从而趋于均匀,降低优势种垄断能力的同时保护了群落内的关键物种,对生态系统中物种多样性的增加作出巨大贡献,进而影响到群落的生产力以及生态系统的稳定性、可持续性。AM真菌在植物群落演替过程中扮演着重要角色,它可以通过改变植物群落的组成,从而引起相应生态系统某种水平上的改变,甚至有人将此看作是生态系统受AM真菌影响的主要途径<sup>[64]</sup>。AM的存在与否是评价生态系统是否健康的重要指标<sup>[65]</sup>,JOHN等<sup>[66]</sup>称有菌丝网络存在的土壤为有生命力的“活土”,而把无菌丝网的土壤称为无生命的“死土”,在这种土壤上恢复植被非常困难<sup>[48,65-66]</sup>。AM真菌的种类和数量可以指示生态系统中自然的或人类



活动引起的变化,并可以在生态系统的保护、恢复或重建过程中发挥重要作用<sup>[67]</sup>。

## 2 丛枝菌根在退化生态系统恢复中的研究现状

AM 真菌生态适应性强,可存在于各种生态环境中且物种多样性丰富,现已分离鉴定报道的约有 200 种,且不断有新种被发现和报道<sup>[68]</sup>。近年来,菌根生物技术越来越多的被应用于退化生态系统恢复与重建中,该技术可以显著缩短受损或退化生态系统的修复与重建周期、提高修复的成功率,并可保证重建效果的稳定性<sup>[69]</sup>。且已有许多利用接种 AM 真菌技术修复并重建退化生态系统的成功例子。

### 2.1 丛枝菌根在矿区植被重建中的作用与研究

关于矿区植被重建的报道甚多,AM 在矿区生态重建中起到其它农艺措施不能发挥的作用。研究显示,接种 AM 真菌可显著增加植物生物量,对降低煤矿区环境修复成本以及增加未来生态收益具有很大的潜力,且维持了矿区生态系统的稳定<sup>[1]</sup>。NOYD 等<sup>[57]</sup>在矿渣地上接种 AM 真菌后,形成了稳定的群落,建立了较好的植被,使得矿渣地得以复垦。岳辉等<sup>[70]</sup>关于神东矿区采煤沉陷地紫穗槐的试验结果显示,接种 AM 真菌后,宏观上显著促进了紫穗槐的生长和发育,微观上改善了植物生长的土壤环境,从而达到植被恢复的目的。李少朋等<sup>[71]</sup>的研究也证实,接种 AM 真菌对矿区退化土壤改良和作物生长都有重要意义。赵仁鑫等<sup>[72]</sup>的盆栽试验结果显示,AM 真菌对于增强玉米适应不同类型煤矸石复合逆境,以及在草原生态系统不同类型煤矸石废弃地上重建植被均具有一定潜在的作用。毕银丽等<sup>[73]</sup>也证实接种 AM 真菌有利于维持煤矸石山复垦土地生态系统的稳定性,具有较好的生态效果。金属尾矿和稀土尾矿的植被重建也有报道,例如郭伟等<sup>[74]</sup>在盆栽试验中研究了 AM 真菌对稀土尾矿上大豆(*Glycine max*)生长的影响,结果表明接种 AM 真菌可显著增加大豆植株地上部和根部的干重,同时显著降低了大豆植株地上部和根部轻稀土元素 La、Ce、Pr 和 Nd 的浓度,证实 AM 真菌对稀土尾矿上植被的重建具有潜在作用。刘惠欣等<sup>[75]</sup>也通过盆栽模拟铁尾矿的试验表明,大豆接种 AM 真菌对铁尾矿生态复垦起到了积极作用。

### 2.2 丛枝菌根在污染土壤修复中的作用与研究

研究显示,紫羊茅(*Festuca rubra*)和车前草(*Plantago lanceolata*)可稳定土壤中的 Zn,为其接种 AM 真菌后,提高了紫羊茅和车前草在 Zn 污染区的存活率<sup>[76]</sup>,证实 AM 真菌在 Zn 污染土壤的植被恢复和植物稳定中发挥着作用。目前,也有不少关于在植物修复重金属污染区时将 AM 真菌与土壤动物、微生物复合后应用于其中的报道,例如 VIVAS 等<sup>[77-78]</sup>证实共生菌与腐生菌的复合接种可有效提高三叶草的菌根侵染率和结瘤数,促进植物

对氮、磷营养吸收利用的同时可增强宿主对 Cd 的耐性;在 Pb/Zn 尾矿上为豆科植物银合欢(*Leucaena leucocephala*)复合接种 AM 真菌和蚯蚓,可促进该尾矿的植被建立及重金属的稳定<sup>[79]</sup>。重金属污染土壤大多数属于多种重金属复合污染,盆栽试验及大田条件试验均表明,在 Cu、Zn、Pb、Cd 复合污染条件下,接种分离自 Cu 污染土壤的混合 AM 真菌可以显著促进海州香薷的生长和对 Cu、Zn、Pb、Cd 的提取<sup>[2]</sup>。AM 真菌对放射性污染土壤的修复也有报道,RUFYIKIRI 等<sup>[80]</sup>的研究显示,AM 真菌形成的根外菌丝能够固持<sup>233</sup>U。AM 在根内的组织可以积累 Cs,同时减少其向菌根内的转运<sup>[81]</sup>。关于 AM 真菌对有机物污染的土壤修复也有相关报道,显示 AM 真菌不仅可以促进植物在有机物污染土壤中的生长,还提高了有机污染物的植物修复效率<sup>[82]</sup>。HUANG 等<sup>[83]</sup>的研究显示 AM 真菌不仅能降低阿特拉津对植物生长的负面影响,还提高了阿特拉津在土壤中的去除率。王丽萍等<sup>[84]</sup>的研究也表明在石油污染土壤上接种 AM 真菌可有效促进植物生长和石油烃降解。

### 2.3 丛枝菌根在受损生态系统植被恢复中的作用与研究

在荒漠化、沙化等逆境的植被恢复中都有应用菌根技术的报道。HERRERA 等<sup>[85]</sup>用接种了 AM 和根瘤菌的豆科植物对荒漠化生态系统进行植被恢复。林先贵等<sup>[3]</sup>利用田间和温室试验证实了 AM 对加速恢复侵蚀土壤植被有重要作用。CUENCA 等<sup>[86]</sup>的研究认为,很难依靠单施化肥恢复因频繁受扰而缺乏菌根且贫瘠田地的植被,与单施磷肥处理相比,施 P 的同时接种 AM 真菌的处理可促进植物对土壤养分的吸收,增加地上部生物量,增大植被覆盖率。CUENCA 等<sup>[87]</sup>还利用菌根技术修复了委内瑞拉南部因水电站的修筑而毁坏的植被。赵之伟等<sup>[88]</sup>的研究显示,与植物密切相关的 AM 真菌在金沙江干热河谷植被的恢复中起到重要作用。SYLVIA<sup>[89]</sup>为滨海燕麦草接种 AM 真菌后,提高了其在受侵蚀的贫瘠沙滩上的成活率,促进了植物的生长发育,对美国佛罗里达侵蚀海岸的大面积防治有积极作用。王曙光等<sup>[90]</sup>关于臭氧对 AM 影响的研究显示,AM 真菌能有效减轻 O<sub>3</sub> 对植物的胁迫,对农田生态系统 O<sub>3</sub> 污染灾害有积极意义。在日本利用菌根技术成功修复了因火山活动而破坏的植被<sup>[91]</sup>。在荒山荒地的生态林建设和干旱区沙漠的治理中,许多国家也成功的应用了菌根技术<sup>[69]</sup>。

### 2.4 丛枝菌根在退化草原植被恢复中的作用与研究

目前,中国 90% 的天然草原出现不同程度的退化,严重制约着牧区的发展。关于利用菌根技术恢复退化草原生态系统研究也有少量相关报道,例如,MC CAIN 等<sup>[92]</sup>利用 AM 真菌技术对美国堪萨斯州草原进行了长

期的植被恢复研究,发现接种 AM 真菌后,植物种的组成、草原生产力、植株叶片组织的质量以及草原草本植物的多样性都有了很大的改善。石伟琦<sup>[63]</sup>关于 AM 真菌对内蒙古草原大针茅群落的影响的研究也表明,AM 的存在有利于植被的恢复与重建。其研究结论可作为内蒙古退化草原生态系统恢复和重建的理论依据。

### 3 退化生态系统菌根研究的热点和难点

日趋恶化的生态环境问题使得利用菌根生物技术修复退化生态系统逐渐成为近年国内外菌根研究的热点和主要发展趋势,并且矿区废弃地和污染土壤的菌根修复研究陆续展开<sup>[57,74,80,84]</sup>。然而,相关研究大都局限于室内盆栽试验,且多数是关于单一菌种或少数几个菌种的研究,而关于野外条件下退化生态系统恢复案例的报道较少。退化生态系统菌根修复研究由于野外研究工作量大、难度大、费用高等原因也成为生态系统菌根研究的难点<sup>[59]</sup>,导致实地研究开展较少。目前,关于 AM 真菌接种效应的报道多是针对单一菌种的研究,而很少有关于研究 AM 真菌群落并将其作为接种体的报道。而接种单一菌种的修复作用在灭菌土壤等控制试验中表现突出,在野外自然条件下往往不明显,其原因主要是在野外条件下一外来菌种竞争力差,很难发挥作用,只有接种适应当地环境条件的菌根菌群落才有可能产生显著影响<sup>[93-94]</sup>。除此之外,国内外对菌根真菌功能的研究大多处于基础阶段,AM 真菌的分离、培养、保藏、扩大繁殖尚未成熟,菌剂的应用技术还处于起步阶段,尤其是还不能进行 AM 真菌的纯培养,这在很大程度上限制了有关 AM 真菌生理代谢功能的研究,同时也影响了 AM 真菌应用<sup>[95]</sup>。

### 4 丛枝菌根对退化生态系统恢复研究的展望

综上所述,AM 作为陆地生态系统的重要组成部分,具有改善植物的养分状况,促进植物生长发育,提高宿主的多种抗逆境能力,改良土壤结构,维持生态系统物种多样性和稳定性的重要作用。SKUJINS<sup>等</sup><sup>[96]</sup>早在 1986 年就呼吁用菌根来修复受损或退化土地,TURNAU<sup>等</sup><sup>[97]</sup>已于 2002 年指出 AM 真菌是退化生态系统恢复的必要要素,ALLEN<sup>[98]</sup>把菌根真菌比喻为干旱土壤中水分和养分运输的高速公路,并建议开展菌根功能的野外原位研究。众多关于退化生态系统菌根修复案例的报道也证明,依靠菌根技术进行植被恢复是最科学、最经济、最值得倡导的技术路线。所以,要从根本上恢复退化生态系统,进行植被重建,治本的方法是应用菌根技术,重建植物与真菌的共生关系<sup>[99]</sup>。就当前国内外 AM 对退化生态系统恢复与重建作用研究的现状及存在的问题来看,AM 对退化生态系统恢复作用的研究应着眼于以下几个方面:①在不同退化生态系统分离和

筛选出适应性强的 AM 真菌的单一菌种或群落,建立不同退化生态系统相应的菌种或群落资源库;②AM 真菌群落结构与功能的研究;③寻找与这些菌种或群落亲和力好又具有修复价值的植物种,建立二者搭配的共生体系,以及这一共生体系对退化生态系统的恢复效应与作用机理的研究;④对这一共生体系影响因素及实地利用技术的研究;⑤根据植物对 AM 真菌的依赖程度调控群落演替的速度和方向的研究。

随着相关研究的深入,AM 在退化生态系统恢复中将发挥越来越大的作用。

### 参考文献

- [1] 杜善周,毕银丽,吴王燕,等.丛枝菌根对矿区环境修复的生态效应[J].农业工程学报,2008,24(4):113-116.
- [2] WANG F Y, LIN X G, YIN R. Heavy metal uptake by arbuscular mycorrhizas of *Elsholtzia splendens* and the potential for phytoremediation of contaminated soil[J]. Plant and Soil, 2005, 269(1-2): 225-232.
- [3] 林先贵,廖继佩,施亚琴. VA 菌根真菌在退化红壤恢复重建中的应用[J]. 土壤与环境(台湾), 2002, 5(3): 221-232.
- [4] 刘润进,李晓林.丛枝菌根及其应用[M].北京:科学出版社,2000: 43.
- [5] 李晓林,冯固.丛枝菌根生态生理[M].北京:华文出版社,2001: 1-156.
- [6] SMITH S E, READ D J. Mycorrhizal symbiosis[M]. San Diego: Academic Press, 1997: 11-160.
- [7] 刘润进,陈应龙.菌根学[M].北京:科学出版社,2007.
- [8] LI X L, GEORGE E, MARSCHNER H. Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil[J]. Plant and Soil, 1991, 136(1): 41-48.
- [9] TORO N, AZCÓN R, BARWA J M. The use of isotopic dilution techniques to evaluate the interactive effects of rhizobium genotype mycorrhizal fungi phosphate-solubilizing rhizobacteria and rock phosphate on nitrogen and phosphorus acquisition by *Medicago sativa* [J]. New Phytologist, 1998, 138(2): 265-173.
- [10] 乌恩,菅原和夫,云锦凤.放牧因子与 VA 菌根的相互作用对鸭茅养分吸收和生长发育的影响[J].干旱区资源与环境, 2007, 21(11): 136-140.
- [11] MARULANDA A, AZCÓN R, RUIZ-LOZANO J M. Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* L. plants under drought stress[J]. Physiologia Plantarum, 2003, 119(4): 526-533.
- [12] 夏建国,李静.利用丛枝菌根真菌(AMF)提高植物抗旱性的研究进展[J].中国农学通报, 2005, 21(2): 326-329.
- [13] KUBIKOVA E, MOORE J L, OWNLEW B H, et al. Mycorrhizal impact on osmotic adjustment in *Ocimum basilicum* during a lethal drying episode[J]. Journal of Plant Physiology, 2001, 158(9): 1227-1230.
- [14] MORTE A, LOVISOLO C, SEHUBERT A. Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense* Ter fezia[J]. Mycorrhiza, 2000, 10(3): 115-219.
- [15] DAVIES F T, POTTER J R, LINDERMAN P C. Mycorrhiza and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hyphae development of pepper plants in dependent of plant size and nutrient content [J]. Journal of Plant Physiology, 1992, 139(3): 289-294.
- [16] ALGUACIL M, CARAVAVA F, DIZA-VIVANCOS P, et al. Effect of arbuscular mycorrhizae and induced drought stress on antioxidant enzyme

- and nitrate reductase activities in *Juniperus oxycedrus* L. grown in a composted sewage sludge-amended semi-arid soil[J]. Plant and Soil, 2006, 279(1/2): 209-218.
- [17] 贺忠群, 贺超兴, 张志斌, 等. 丛枝菌根真菌提高植物耐盐性的作用机制[J]. 西北植物学报, 2007, 27(2): 414-420.
- [18] 王幼珊, 张美庆, 张弛. VA 菌根真菌抗盐碱菌株的筛选[J]. 土壤学报, 1994, 31(增刊): 79-83.
- [19] 冯固, 杨茂秋, 白灯莎. 盐胁迫下 VA 菌根真菌对无芒雀麦体内矿物质元素含量及组成的影响[J]. 草业学报, 1998, 7(3): 21-28.
- [20] 唐明, 黄艳辉, 盛敏, 等. 内蒙古盐碱土中 AM 真菌的多样性与分布[J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 1104-1110.
- [21] 张瑞, 乌恩. 丛枝菌根对紫花苜蓿抗盐碱性的影响及其研究展望[C]//土壤肥料与农业可持续发展. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 2007: 99-103.
- [22] 孟根花, 张瑞, 李重祥, 等. 丛枝菌根对牧草抗盐性的影响及展望[J]. 内蒙古草业, 2008(4): 8-11.
- [23] 张峰峰, 周可, 赵玉洁, 等. 天津滨海盐碱土中 VA 菌根真菌资源调查研究[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(3): 149-153.
- [24] FENG G, ZHANG F S, LI X L, et al. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots[J]. Mycorrhiza, 2002, 12(4): 185-190.
- [25] 胡正嘉, 王平. VA 菌根对棉花枯萎病的影响[J]. 土壤学报, 1994, 31(增刊): 212-217.
- [26] 刘润进, 沈崇尧, 裘维番. VAM 菌根与黄萎病菌存在侵染中的竞争作用[J]. 土壤学报, 1994, 31(增刊): 224-229.
- [27] VIGO C, NORMAN J R, HOOKER J E. Biocontrol of the pathogen *Phytophthora parasitica* by arbuscular mycorrhizal fungi is a consequence of effects on infection loci[J]. Plant Pathology, 2000, 49(4): 509-514.
- [28] AZCÓN-AGUILAR C, BAREA J M. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens-an overview of mechanisms involved[J]. Mycorrhiza, 1996, 6(6): 457-464.
- [29] ELSEN A, GERVACIO D, SWENNEN R, et al. AMF-induced biocontrol against plant parasitic nematodes in *Musa* sp.: A systemic effect[J]. Mycorrhiza, 2008, 18(5): 251-256.
- [30] JONER E J, BRIONES R, LEYVAL C. Metal-binding capacity of arbuscular mycorrhizal mycelium[J]. Plant and Soil, 2000, 226: 227-234.
- [31] TONIN C, VANDENKOORNHUYSE P, JONER E J, et al. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi diversity in the rhizosphere of *Viola calaminaria* and effect of these fungi on heavy metal uptake by clover[J]. Mycorrhiza, 2001, 10: 161-168.
- [32] VIVAS A, BIR B, RUÍZ-LOZANO M J, et al. Two bacterial strains isolated from a Zn-polluted soil enhance plant growth and mycorrhizal efficiency under Zn-toxicity[J]. Chemosphere, 2006, 62(9): 1523-1533.
- [33] CUENCA G, MENESES E. The presence of aluminum in arbuscular mycorrhizas of *Clusia multiflora* exposed to increased acidity[J]. Plant and Soil, 2001, 231(2): 233-241.
- [34] 乌恩, 辛国荣, 菅原和夫, 等. 酸性土壤对黄花茅菌根共生性的影响[J]. 草地学报, 2006, 14(2): 152-155.
- [35] WU E, XIN G R, SUGAWARA. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on grass and weed in acidic andosol[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 281: 664-669.
- [36] 赵士杰, 李树林. VA 菌根促进韭菜增产的生理基础研究[J]. 土壤肥料, 1993(4): 38-40.
- [37] 陈笑莹, 宋凤斌, 朱先灿, 等. 高温胁迫下丛枝菌根真菌对玉米光合特性的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(2): 108-113.
- [38] 吉春龙, 田萌萌, 马继芳, 等. 丛枝菌根真菌对植物营养代谢与生长影响的研究进展[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2010, 33(3): 303-309.
- [39] 贺忠群, 贺超兴, 张志斌, 等. 不同丛枝菌根真菌对番茄生长及相关生理因素的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 308-312.
- [40] 乌恩. 人工牧草放牧地上的菌根共生[D]. 沈阳: 东北大学, 2004.
- [41] 李雪松, 乌恩. 菌根接种对紫花苜蓿生长发育的效应[C]//土壤肥料与农业可持续发展. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 2007: 122-126.
- [42] HAUSE B, MIROSK C, ISAYENKOV S, et al. Jasmonates in arbuscular mycorrhizal interactions[J]. Phytochemistry, 2007, 68: 101-110.
- [43] 刘润进, 李敏, 孟祥霞, 等. 丛枝菌根真菌对玉米和棉花内源激素的影响[J]. 菌物系统, 2000, 19(1): 91-96.
- [44] van der HEIDEN M G A, WIEMKEN A, SANDERS I R. Different arbuscular fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plants[J]. New Phytologist, 2003, 157: 569-578.
- [45] FITTER A H. Influence of mycorrhizal infection on competition for phosphorus and potassium by two grasses[J]. New Phytologist, 1977, 3: 119-125.
- [46] SMITH M D, HARTNETT D C, WILSON G W T. Interacting influence of mycorrhizal symbiosis and competition on plant diversity in tall-grass prairie[J]. Oecologia, 1999, 121: 574-582.
- [47] WILSON G W T, HARTNETT D C. Effects of mycorrhizae on plant growth and dynamics in experimental tallgrass prairie microcosms[J]. American Journal of Botany, 1997, 84: 478-482.
- [48] 杨宏宇, 赵丽莉, 贺学礼. 丛枝菌根在退化生态系统恢复和重建中的作用[J]. 干旱区地理, 2005, 28(6): 836-842.
- [49] JOHNSON D, VANDENKOORNHUYSE P J, LEAKE J P, et al. Plant communities affect arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community composition in grassland microcosms[J]. New Phytologist, 2003, 161(2): 503-515.
- [50] BERGELSON J M, CRAWLEY M J. Mycorrhizal infection and plant species diversity[J]. Nature, 1988, 334: 202.
- [51] 白梨花, 斯日格格, 曹丽霞, 等. 丛枝菌根对牧草与草地生态系统的重要作用及其研究展望[J]. 草地学报, 2013, 21(2): 214-221.
- [52] NEWMAN E I, HEAP A J, LAWLEY R A. Abundance of mycorrhizas and root surface microorganisms of plantago lanceolata in relation to soil vegetation: A multi-variate approach[J]. New Phytologist, 1981, 89: 95-108.
- [53] HALLETT P D, FEELEY D S, BENGOUGH A G, et al. Scrimgeour CM, Young IM Disentangling the impact of AM fungi versus root on soil structure and water transport[J]. Plant Soil, 2009, 314: 183-196.
- [54] TISDALL J M. Fungal hyphae and structural stability of soil[J]. J Soil Res, 1991, 29: 729-743.
- [55] WRIGHT S F, UPADHYAYA A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Plant and Soil, 1998, 198: 97-107.
- [56] RILLIG M C, WRIGHT S F, EVINER V T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species[J]. Plant and Soil, 2002, 238: 325-333.
- [57] NOYD P K, PFLEGER F L, NORLAND M R. Field response to added organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi, and fertilizer in reclamation of taconite iron ore tailing[J]. Plant and Soil, 1996, 179: 89-97.
- [58] 潘超美, 郭庆荣, 邱桥姐. VA 菌根真菌对玉米生长及根际土壤微生物环境的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(4): 304-306.
- [59] 宋福强, 杨国亭, 孟繁荣, 等. 丛枝菌根化大青杨苗木根际微域的研究[J]. 生态环境, 2004, 13(2): 211-216.
- [60] van der HEIJDEN M G A. Different arbuscular mycorrhizal fungal species



- are potential determinants of plant community structure[J]. Ecology, 1998, 79(6):2082-2091.
- [61] TILMAN D, WEDIN D, KNOPS J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystem[J]. Nature, 1996, 379: 718-720.
- [62] HECTOR A B, SCHMID C, BEIERKUHNLEIN M C. Plant diversity and productivity experiments in European grassland[J]. Science, 1999, 286: 1123-1127.
- [63] 石伟琦. 丛枝菌根真菌对内蒙古草原大针茅群落的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 344-349.
- [64] RILLIG M C. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes[J]. Ecology Letter, 2004, 7: 740-754.
- [65] 林晓民, 李振岐, 韩德俊, 等. 菌根与植被恢复[J]. 干旱地区农业环境, 2003, 21(2): 167-170.
- [66] JOHN T S, DIXON B, JOHN M S. Mycorrhizal inoculation in habitat restoration[J]. Land and Water, 1998, (March/April): 6-11.
- [67] 秦琴, 杨晓红, 王春华. 菌根生物技术在退化草地生态系统中的意义[J]. 生物技术通报, 2006(增刊): 225-236.
- [68] 王森森, 刁志凯, 梁霞霞, 等. 农业生态系统中的 AM 真菌多样性[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2744-2749.
- [69] 魏源, 王世杰, 刘秀明, 等. 丛枝菌根真菌及在石漠化治理中的应用探讨[J]. 地球与环境, 2012, 40(1): 80-92.
- [70] 岳辉, 毕银丽, Zhakypbek Y, 等. 接种菌根对神东矿区采煤沉陷地的生态修复效应[J]. 科技导报, 2012, 30(36): 56-60.
- [71] 李少朋, 毕银丽, 陈咄咄, 等. 干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 4181-4188.
- [72] 赵仁鑫, 郭伟, 付瑞英, 等. 丛枝菌根真菌在不同类型煤矸石山植被恢复中的作用[J]. 环境科学, 2013, 34(11): 4448-4454.
- [73] 毕银丽, 吴王燕, 刘银平. 丛枝菌根在煤矸石山土地复垦中的应用[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3738-3743.
- [74] 郭伟, 赵仁鑫, 赵文静, 等. 丛枝菌根真菌对稀土尾矿中大豆生长和稀土元素吸收的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(5): 1915-1921.
- [75] 刘惠欣, 张俊英, 李富平. 丛枝菌根在尾矿废弃地生态恢复中的试验研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(14): 285-289.
- [76] ORLOWSKA E, RYSZKA P, JURKIEWICZ A, et al. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) strains in colonisation of plants involved in phytostabilisation of zincwastes[J]. Goederma, 2005, 129: 92-98.
- [77] VIVAS A, VÖRÖS I, BIR B, et al. Symbiotic efficiency of autochthonous arbuscular mycorrhizal fungus (*G. mosseae*) and *Brevibacillus* sp. isolated from cadmium polluted soil under increasing cadmium levels[J]. Environmental Pollution, 2003, 126: 179-18.
- [78] VIVAS A, VÖRÖS A, BIR B, et al. Beneficial effects of indigenous Cd-tolerant and Cd-sensitive *Glomus mosseae* associated with a Cd-adapted strain of *Brevibacillus* sp. in improving plant tolerance to Cd contamination[J]. Applied Soil Ecology, 2003, 24(2): 177-186.
- [79] MA Y, DICKINSON N M, WONG M H. Beneficial effects of earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi on establishment of leguminous trees on Pb/Zn mine tailings[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38: 1403-1412.
- [80] RUFYIKIRI G, DECLERCK S, THIRY Y. Comparison of  $^{233}\text{U}$  and  $^{33}\text{P}$  uptake and translocation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in root organ culture conditions[J]. Mycorrhiza, 2004, 14(3): 203-207.
- [81] DEBOULOIS H D, DELVAUX B, DECLERCK S. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the root uptake and translocation of radiocaesium[J]. Environmental Pollution, 2005, 134(3): 515-524.
- [82] JONER E J, LEYVAL C. Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils and the impact of arbuscular mycorrhiza[J]. Environ Sci Technol, 2003, 37: 2371-2375.
- [83] HUANG H L, ZHANG S Z, SHAN X Q, et al. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus caledonium*) on the accumulation and metabolism of atrazine in maize (*Zea mays* L.) and atrazine dissipation in soil[J]. Environmental Pollution, 2007, 146: 452-457.
- [84] 王丽萍, 郭光霞, 华素兰, 等. 丛枝菌根真菌-植物对石油污染土壤修复实验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(1): 91-95.
- [85] HERRERA M A, SALAMANCA C P, BAREA J M. Inoculation of woody legumes with selected arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia to recover desertified Mediterranean ecosystems[J]. Appl Environ Microbiol, 1993, 59: 129-133.
- [86] CUENCA G, ANDRADE Z D, ESCALANTE G. Arbuscular mycorrhizae in the rehabilitation of fragile degraded tropical lands[J]. Biology and Fertility of Soils, 1998, 26(2): 107-111.
- [87] CUENCA G, LOVERA M. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in disturbed and revegetated sites from La Gran Sabana, Venezuela[J]. Can J Bot, 1992, 70: 73-79.
- [88] 赵之伟, 任立成, 李涛, 等. 金沙江干热河谷(元谋段)的丛枝菌根[J]. 云南植物研究, 2003, 25(2): 199-204.
- [89] SYLVIA D M. Nursery inoculation of Sea Oats with Vesicular-Arbuscular mycorrhizal fungi and outplanting performance on Florida Beaches[J]. Journal of Coastal Research, 1989, 5(4): 747-754.
- [90] 王曙光, 冯兆忠, 王效科, 等. 大气臭氧浓度升高对丛枝菌根(AM)及其功能的影响[J]. 环境科学, 2006, 27(9): 1872-1877.
- [91] MARUMOTO T, KOHNO N, EZAKI T, et al. Reforestation of volcanic devastated land using the symbiosis with mycorrhizal fungi[J]. Soil Microorganisms, 1999, 53: 81-90.
- [92] MCCAIN K N S, WILSON G W T, BLAIR J M. Mycorrhizal suppression alters plant productivity and forb establishment in a grass-dominated prairie restoration[J]. Plant Ecology, 2011, 212(10): 1675-1685.
- [93] 李岩, 焦惠, 徐丽娟, 等. AM 真菌群落结构与功能研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 1089-1096.
- [94] ESTRADA B, AROCA R, AZCÓN-AGUILAR C, et al. Importance of native arbuscular mycorrhizal inoculation in the halophyte *Asteriscus maritimus* for successful establishment and growth under saline conditions[J]. Plant and Soil, 2013, 370(1-2): 175-185.
- [95] 徐丽娟, 刁志凯, 李岩, 等. 菌根真菌的生理生态功能[J]. 应用生态学报, 2012, 2(1): 285-292.
- [96] SKUJINS J, ALLEN M F. Use of mycorrhizae for land rehabilitation[J]. MIRCEN Journal of Applied Microbiology and Biotechnology, 1986, 2(1): 161-176.
- [97] TURNAU K, HASELWANDTER K. Arbuscular mycorrhizal fungi, an essential component of soil microflora in ecosystem restoration[C]. Mycorrhizal Technology in Agriculture, 2002: 137-149.
- [98] ALLEN M F. Mycorrhizal fungi: Highways for water and nutrients in arid soils[J]. Vadose Zone Journal, 2007, 6: 291-297.
- [99] 毕琪, 王百成, 肖振海, 等. 菌根在吉林省生态草建设工程中的作用及生态学意义[J]. 吉林林业科技, 2006, 35(1): 1-5.

# 太空诱变育种的研究进展

李 谨, 耿金鹏, 曹天光, 韩英荣, 李多芳, 展 永

(河北工业大学 理学院, 生物物理研究所, 天津 300401)

**摘 要:**太空诱变育种研究是利用太空搭载等综合技术进行的诱变育种研究工作,是集空间技术、现代化农业技术以及分子生物技术于一体的跨学科的交叉新技术,是近几十年来产生的一种崭新育种技术。与传统育种方式相比,可在相对较短的时间内,大幅度提高作物产量和抗性,创造出大批优质种质资源,是缓解植物及农作物种质资源匮乏的有效途径之一,也是生物育种的重要发展方向之一。现对太空诱变育种的概念特点、生物学效应以及国内外研究进展等方面进行了全面阐述,并对未来的发展趋势进行了展望。

**关键词:**太空诱变;诱变育种;传统育种;变异;生物学效应

**中图分类号:**S 603.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)14-0189-05

太空环境具有高真空、微重力、地球磁场和高能带电粒子辐射等特点。众多复杂的空间环境因素对生物体的生长发育会产生极大的影响。

**第一作者简介:**李谨(1986-),女,博士研究生,研究方向为辐照生物学。E-mail:Davidjin2013@163.com.

**责任作者:**展永(1954-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事生物大分子动力学及辐照生物学的教学与研究工作。E-mail:Yong\_zhan@163.com.

**基金项目:**河北省科技计划资助项目(09220102D);河北省自然科学基金资助项目(2013202192)。

**收稿日期:**2015-03-15

## 1 太空诱变育种的概念和特点

“太空诱变育种”是指利用返回式近地卫星、高空气球等方式搭载生物体种质材料,在近地空间的物理和化学等综合因素的影响下,使生物体遗传物质发生改变,导致其后代发生表现性状的变异,经地面选育和培育新品种的方法。

太空诱变育种比地面常规育种方式具有更显著的优势:1)其变异频率高、变异谱宽、变异幅度广以及变异性状稳定等特点。生物发生自然突变的频率很低,大约为 $10^{-6}$ ,而利用外太空的特殊环境条件,太空诱变育种产生的有益变异率可达1%~5%,大大提高了诱变产生有益变异的频率<sup>[1]</sup>。2)性状变异方向不定,各种性状

## The Role and the Research Prospect of Arbuscular Mycorrhizal in Degraded Ecosystem Restoration

CAO Lixia, FU Ying, HOU Weifeng, WU En

(College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019)

**Abstract:** Arbuscular mycorrhizal is an important part of natural ecological system, it has a variety of physiological and ecological function. In recent years, the mycorrhizal restoration of degraded ecosystem research gradually became a hot topic of both at home and abroad because the ecological environment destruction and degradation problems. This research reviewed the individual nutrient absorption of plant, stress resistance, growth and development, plant diversity, community productivity, soil system and the physiological and ecological function of the stability in ecological system of arbuscular mycorrhizae, and discussed existing problems and present situations of the effect of the degraded ecosystem restoration and reconstruction at home and abroad, at the same time, made the prospect of mycorrhizal in degraded ecosystem restoration research for the future.

**Keywords:** arbuscular mycorrhizal; degraded ecosystems; restoration; functions; prospect