

DOI: 10.5846/stxb201408241672

金樑, 刘永俊, 赵斌, 林先贵, 冯虎元. 中国菌根生态学的发展与未来——第十二届全国菌根学研讨会述评. 生态学报, 2014, 34(16): 4794-4797.

中国菌根生态学的发展与未来 ——第十二届全国菌根学研讨会述评

金 樑¹, 刘永俊², 赵 斌³, 林先贵⁴, 冯虎元^{2,*}

(1. 兰州大学 草地农业生态系统国家重点实验室, 草地农业科技学院, 兰州 730020;

2. 兰州大学 生命科学学院, 兰州 730000; 3. 华中农业大学 生命科学技术学院, 武汉 430070;

4. 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要:由中国菌物学会菌根及内生真菌专业委员会、中国土壤学会、中国植物营养与肥料学会主办, 兰州大学承办的第十二届全国菌根学术研讨会于 2014 年 7 月 11 日至 13 日在甘肃兰州举行, 来自全国 72 所高等院校和科研院所及美国、英国、爱沙尼亚和澳大利亚等国的 224 位代表参加了会议。本次会议为与会代表搭建了一个学术交流、成果展示以及项目合作的平台, 研讨菌根学从微观至宏观、个体至生态系统、基础理论至实践应用等领域的最新研究成果、国内外动态与发展趋势, 并邀请国内外知名学者做大会报告, 对促进我国菌根学的发展发挥了重要作用。

关键词:菌根; 学术会议; 兰州

1 会议概况

由中国菌物学会菌根及内生真菌专业委员会、中国土壤学会、中国植物营养与肥料学会主办, 兰州大学承办的第十二届全国菌根学术研讨会于 2014 年 7 月 11 日至 13 日在甘肃兰州举行, 来自全国 72 所高等院校和科研院所及美国、英国、爱沙尼亚和澳大利亚等国的 224 位代表参加了会议。本次会议设立了大会报告和青年论坛两种报告形式, 其中大会报告 43 场, 青年论坛下设生态组和生理组两个分会场举行, 30 位青年学者展示了他们最新的研究成果或研究进展。会议共计收到论文摘要 116 篇, 展板 20 份。本次会议为与会代表搭建了一个学术交流、成果展示以及项目合作的平台, 研讨菌根学从微观至宏观、个体至生态系统、基础理论至技术实践等领域的最新成果、国内外动态与发展趋势, 并邀请国内外知名学者做大会报告, 对促进我国菌根学的发展发挥了重要作用。

2 会议主题与特色

菌根是由一类特殊的地下微生物与高等植物根系形成的共生体, 分为丛枝菌根 (arbuscular mycorrhizae, AM)、外生菌根 (Ectomycorrhizae, ECM)、内外生菌根和兰科菌根等七大类。从本次会议的报告和投稿论文摘要来看, 当前我国菌根学研究以丛枝菌根为主, 约占 75%, 外生菌根研究约占 20%, 另有少量其他类型的菌根研究。目前, 菌根学研究已经成为全球生态学关注的热点之一。本次会议紧密围绕国际菌根学研究的前沿, 结合我国自然生态系统的特点, 展示了我国菌根学界近年来的最新研究成果, 主要包括以下几个方面: 1) 菌根生态学研究。主要围绕 AM 真菌和 ECM 在自然生态系统中的功能, 分别从分子、个体、种群、群落和生态系统的层次开展研究。2) AM 真菌与宿主植物共生的分子机理研究。华中农业大学赵斌课题组、中国科学院南京土壤研究所林先贵课题组等利用最新的分子生物学技术, 从基因的启动诱导、序列的扩增和表

基金项目:国家自然科学基金 (No.31270558); 国家科技部“973”项目 (2012CB026105); 兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金 (lzujbky-2013-86) 资助

收稿日期:2014-08-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fenghy@lzu.edu.cn

达、相关蛋白的作用机制等角度探究 AM 真菌与宿主植物共生的分子机理。3) AM 真菌和 ECM 在抗/耐胁迫生境条件下的作用机制及功能研究。目前,关注较多的胁迫生境条件包括干旱胁迫、重金属污染、矿山复垦、盐碱胁迫、病害胁迫等。4) 菌根真菌多样性研究。中国农业大学李晓林课题组、内蒙古农业大学白淑兰课题组等利用分子序列比对和经典分类学方法,开展青藏高原、内蒙古草原、西藏高山草地等生态系统中的 AM 真菌和 ECM 真菌多样性研究。5) 深色有隔内生真菌(dark septate endophyte, DSE)研究,云南大学赵之伟课题组等主要围绕 DSE 在我国南方的资源分布、对宿主植物的生长和促进效应、对重金属胁迫的耐性功能基因 GSTs 等方面开展研究。6) 菌根资源的搜集、保藏和利用。北京市农林科学院王幼珊课题组目前已经建立了系统、完善、实用的 AM 真菌分离、收集与保存方法。目前保存的 AM 真菌共计 5 个属 27 个种 155 株。

在以上所有研究工作中,菌根生态学研究为本次会议的主要研究方向,为了突出重点,现就本次会议相关报告内容综述如下:

1) 菌根在分子生态学水平上的研究。利用分子生物学的方法,Young 对 AM 真菌第一次进行了全基因组序列测定,在此基础上,探究 AM 真菌在全球范围内的生物多样性分布格局。此外,赵斌等对 AM 共生体磷转运蛋白的发现,为阐明其对宿主植物矿质营养转运的分子机制提供了可能。在 ECM 研究方面,峥嵘等开展了内蒙古草原浅黄根须腹菌磷酸盐转运蛋白基因(*Rhizopogon luteolus* phosphate transporter, *RL-PT*)的克隆及序列分析,为野外生态系统的恢复治理提供了理论依据。

2) 菌根在个体生态学水平上的研究。本领域主要包括三个部分的内容。第一,探究不同宿主植物类型与 AM 真菌的共生效应。李爱荣等研究发现 AM 真菌可以在半寄生植物马先蒿(*Pedicularis* L.)根部形成菌根共生体,进而促进马先蒿在逆境下的生长发育,降低马先蒿对寄主植物的危害程度,是马先蒿种群快速扩张的一种重要因素。此外,辛国荣等围绕南方滨海红树林生态系统中 AM 真菌的多样性及其特征,发现红树林生态系统中具有与大部分陆地生态系统相当的 AM 真菌多样性。第二,研究 AM 真菌对提高宿主植物耐受重金属胁迫和干旱胁

迫的机理。目前,围绕 AM 真菌对 Al^{3+} 、砷、铬、镉、铜、铅等重金属危害的机理,以及 AM 真菌对这些胁迫效应的解毒机制研究较多。胡君利等研究发现,生物质炭可以协助 AM 真菌在重金属污染土壤中阻控对重金属离子的吸收和转运。王曙光等也证实 AM 真菌可以在湿地生态系统中提高宿主植物耐受 Cd、Pb 的胁迫,其机理与土壤生态系统中的 AM 真菌的物种多样性产生影响,反之,AM 真菌也具有改善盐碱土壤理化性质的功能。第三,AM 真菌对宿主植物抗病性的研究。在大田条件下,陈美兰等研究发现 AM 真菌能够降低连作丹参(*Salvia miltiorrhiza*)枯萎病的发病率,促进丹参的生长。王春燕、唐明等对 ECM 提高油松(*Pinus tabulaeformis*)猝倒病抗性机制进行了研究。同样,任丽轩、徐国华也发现 AM 真菌可以减轻西瓜(*Citrullus lanatus*)枯萎病,分析其机制为,一方面 AM 真菌可以直接抑制枯萎病病原菌的生长和繁殖;另一方面提高了西瓜自身的抗病能力。

3) 菌根在种群水平上的研究。在种群水平上,由于同一物种不同个体的存在,种内竞争与物种共存是其典型的特征,因而目前的研究多关注 AM 真菌在农田生态系统中的物种多样性变化,及其对农田生态系统的影响。由于农田植物的单一化种植模式,表现为明显的种内竞争,因而相关的研究主要围绕 AM 真菌对农作物在栽培条件下生长的影响,如梁宇等关注 AM 菌根对植物幼苗存活和生长的影响、陈廷速等关注 AM 真菌对甘蔗种群生长的调节效应等。此外,王宇涛以稻田湿地生态系统为目标,研究水稻根际 AM 真菌存在的价值和功能,分析其是共生效应?还是寄生效应?张俊玲等相关研究主要关注菌丝体网络对农田生态系统中植物种间关系的调节作用。此外,金樑等关注青藏高原高寒草原生态系统中,优良牧草和有毒植物之间的种间竞争,以及任安芝等研究了 AM 真菌与内生真菌双重侵染对禾草植物生长的影响。在机理方面,程磊等研究了 AM 真菌共生对直根系植物与须根系植物在促进土壤养分吸收、利用之间的差异。陈保冬等研究发现,在我国北方农牧交错带 AM 真菌具有较高的多样性,而 AM 真菌多样性主要受土壤因素的影响,人类农业活动也会影响 AM 真菌的多样性,菌根真菌

在植物适应逆境胁迫和响应环境变化方面具有重要作用。

4) 菌根在群落和生态系统水平的研究。从全球范围来看,国际菌根学界目前研究的重点即为 AM 真菌在群落和生态系统中的功能,但由于这两个层次多为野外实验,牵涉范围广、周期长,不可控因素多,因而也是菌根学研究的难点。我国菌根学家在本次会议上报道的成果较多,可以归纳为如下几个部分。

第一,研究 AM 真菌对全球变化的响应和反馈,及其所发挥的作用和机理。相关的研究范围涉及农田生态系统、森林生态系统、草原生态系统等,如唐旭利开展的南亚热带森林中的菌根对土壤碳固持的影响、张涛等开展了增温施肥对松嫩草原生态系统中 AM 真菌群落组成的影响、Gehring *et al.* 开展的全球变化对 ECM 物种多样性的影响等,发现菌根生物量对土壤碳固持直接贡献不大,但是间接的影响不容忽视。

第二,研究 AM 真菌与外来植物入侵之间的相关性,如陈欣课题组开展的加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*)、张凤娟开展的黄顶菊 (*Flaveria bidentis*) 等,结果发现,外来植物与 AM 真菌之间多采取保守性共生策略,根系化感分泌物是其主要的影响因素之一,保守性共生策略强化了外来入侵植物的相对竞争力。

第三,青藏高原高寒草地生态系统中 AM 真菌群落的构建机制。兰州大学刘永俊、冯虎元课题组探讨了施肥与遮阴交互处理条件下,通过分析植物及其根系内 AM 真菌的群落组成,结合群落谱系分析方法,探究光及土壤资源对植物及 AM 真菌群落的调控过程及潜在机制,发现遮阴及施肥处理可以降低植物及 AM 真菌的物种多样性,且两者具有叠加负效应,显著改变植物及 AM 真菌群落的物种及谱系组成,驱动植物及 AM 真菌群落的关键生态过程各异,但均高度依赖于光及土壤营养有效性,本研究结果将有助于研究全球变化所带来的生态影响。此外,在自然生境条件下,冯虎元等探究了在 AM 真菌群落构建中起主导地位的是确定性因素还是随机因素? 或共同起作用? 将物种系统发育与群落生态学整合研究,为群落构建机制研究提供了新的思路,提出开展植物多样性—AM 真菌多样性—生态系统

功能的整合研究。

第四,纪宝明等研究了 AM 真菌与宿主植物共生体对支出/收益成本之间的权衡,宿主植物输出光合产物,获得矿质营养和水分,从营养和能量学角度探究 AM 真菌与宿主的共生机制。

第五,研究不同生态系统条件下,AM 真菌的多样性对宿主植物存活和生长的影响。唐旭利等发现南亚热带森林中菌根化现象明显,菌根组成随森林演替而不同。同时,盖京苹等发现高山草原土壤中 AM 真菌的多样性存在明显的海拔分布模式,根内 AM 真菌的海拔分布则主要受宿主植物种类的影响,分析环境筛选可能是其群落构建的主要机理。此外,中国科学院生态环境中心陈保冬课题组和河北大学贺学礼课题组分别开展了我国北方农牧交错带和荒漠生态系统中的 AM 真菌多样性研究,鉴定了所有筛选出的 AM 真菌种类,观察了 AM 真菌共生的结构,确定了 AM 真菌种属的分类地位,在此基础上,汇总了该地区 AM 真菌的种质资源。

最后,在生物修复领域,中国矿业大学毕银丽课题组发现,AM 菌根是受损生态环境恢复的重要因子,人工接种 AM 菌剂可以表现出良好的生态修复效应。菌根复垦可以加快生态系统自然演替的速度,具有长期后效性,对维持生态系统稳定具有重要的现实意义。如杨晓红等研究了 AM 真菌在促进喀斯特石漠化地区和三峡库区消落带中桑树存活的影响,毕银丽研究了 AM 真菌在废弃矿区复垦过程中的利用价值,以及郭涛等开展了 AM 真菌在生态系统中对植物残体的降解作用研究,在此基础上,毕银丽等提出需要加强生物修复过程中对菌根生物多样性的演替规律、生物保水、植物促生、碳循环、土壤质地等的深入研究,达到宏观与微观的有机结合。

3 会议启示

从本次会议展示的成果来看,我国菌根学研究在最近数年间取得了长足的发展,菌根学研究队伍不断壮大,菌根研究方向更加广泛,研究层次也逐渐由个体生态学层次向群落和生态系统层次转变。鉴于当前国际菌根学研究多关注于 AM 真菌和 ECM 在群落和生态系统层次上的功能研究,结合我国生态系统的类型和特点,以发挥我国的资源和生境类型多样为优势,我国未来的菌根学研究应围绕以下

方向开展工作。

1) 菌根真菌的物种多样性和资源分布特征研究。众所周知,我国陆地生境类型多样、生态系统复杂,无论是青藏高原,还是黄土高原、内蒙古草原,都蕴藏了丰富的 AM 真菌和 ECM 资源。受经典分类学方法的限制,AM 真菌的分类一直没要明显的突破。随着分子生物学技术引入 AM 真菌分类学,以全基因组序列测定、序列比对、PLFA 等技术为基础的分子生态学研究,为 AM 真菌和 ECM 物种多样性与资源分布特征研究提供了契机,预期围绕我国特有的、极端的生境类型,如青藏高原高寒草地、沙漠干旱区、海滨湿地生态系统等,开展 AM 真菌和 ECM 物种多样性研究将会取得较大的突破,如谢占玲等开展的青藏高原黄绿蜜环菌的种群遗传多样性研究已经取得初步成果。

2) 菌根在生态系统中的功能。目前,围绕 AM 和 ECM 在生态系统中的功能研究,已经从个体生态学、种群生态学层次深入到群落和生态系统层次。当前,围绕 AM 真菌对群落多样性与稳定性的研究已经多有报道,特别是结合全球气候变化、农业可持续发展、外来物种入侵、恢复生态学、生物多样性保护等领域的研究将成为未来菌根学的研究热点^[1-3],我国菌根学界尚待加强这一领域的研究,如胡金水等开展了 AM 真菌在全球变化条件下对 C、N 循环和温度升高的响应研究。

3) 开展野外菌根生态学的研究工作,目前大多数菌根学的研究成果均为室内或盆栽条件下的人工控制实验,尚缺少野外尺度条件下的菌根生态学研究工作。需要以野外生态学为基础,开展长期、定

位、多角度的跟踪实验,研究 AM 真菌的群落结构和生物多样性。

4) AM 真菌的研究方法。林先贵等提出除基于 DNA 或 RNA 的分子生物学方法外,当前针对生物标记物的方法也是非常重要的检测手段,AM 真菌生物标记物(如 PLFA)检测方法可望补充生物量(丰度)方面的数据。¹³C 标记可有效检测植物根际的活性 AM 真菌类群。PLFA 与质谱联合检测技术,可有效检测植物根际中发挥作用的关键 AM 真菌类群。微 CT 扫描和 3D 重建技术为原位分析提供了可能。随着对单细胞测序技术的高度重视,如果条件成熟,AM 真菌的鉴定和多样性分析无疑将更加准确和有效。此外,陈应龙提出的根际培养法等新兴技术的开发和应用必将对 AM 真菌的研究带来新的突破。

References:

- [1] Wagg C, Bender S F, Widmer F, van der Heijden MGA. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2014. doi: 10.1073/pnas.1320054111
- [2] Pritchard S G, Taylor B N, Cooper E R, Beidler K V, Strand A E, McCormack M L, Zhang S Y. Long-term dynamics of mycorrhizal root tips in a loblolly pine forest grown with free-air CO₂ enrichment and soil N fertilization for 6 years. *Global Change Biology*. 2014. 20: 1313-1326.
- [3] Phillips R P, Brzostek E, Midgley MG. The mycorrhizal-associated nutrient economy: a new framework for predicting carbon-nutrient couplings in temperate forests. *New Phytologist*. 2013. 199: 41-51.