

赵 飞,蔡晓布. 不同海拔高度对藏北高寒草甸丛枝菌根真菌的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):344-346.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.04.122

不同海拔高度对藏北高寒草甸丛枝菌根真菌的影响

赵 飞, 蔡晓布

(西藏大学农牧学院,西藏林芝 860000)

摘要:藏北高寒草甸地区不同海拔高度对丛枝菌根真菌(*Arbuscular mycorrhizal fungi*, AMF)影响的研究结果表明,海拔高度不仅在一定范围内与 AMF 孢子密度呈负相关,而且对菌丝密度、侵染率的影响均是在一定范围内先升高后降低,在中间海拔出现最高值;通过计算发现,Shannon - Weiner 多样性指数和物种丰度在一定范围内随海拔增加表现为先升高再降低,有规律地在 4 121 ~ 4 452 m 之间出现较大值。综合比较可知,AM 真菌对莎草科植物嵩草根系具有良好的侵染效应。

关键词:海拔;丛枝菌根真菌;藏北;高寒草甸

中图分类号: Q935 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002 - 1302 (2015)04 - 0344 - 03

丛枝菌根真菌 (*Arbuscular mycorrhizal fungi*, AMF) 能与陆地上 90% 的维管植物形成专性共生体系,在植物群落演替方向、植物生态系统变化、植物种群竞争力等生态过程中发挥着重要作用^[1],在全球各个大陆都有分布^[2]。尽管 AMF 在生态环境和植物生产力方面有着重要的作用,有关它的生物地理分布模式目前仍知之甚少。相关研究涉及到 AMF 在高海拔地区的分布,例如北极^[3]、阿尔卑斯山^[4]等,却发现没有菌根结构的形成。在相关研究中发现 AMF 不但在高海拔地区有分布^[5],在青藏高原这类被认为是较少受到人类活动影响的

少数几个地区之一也发现了 AMF 明显的分布。西藏区域内的代表性草原藏北高寒草甸,平均海拔 4 500 m 左右,因其独特的地质历史和自然条件,以及丰富的生物组成和生物群落类型,为研究 AMF 的地理分布格局提供了理想的条件。

近 10 年来,针对西藏高原的 AMF 多样性研究在逐渐增多,研究区域范围不断扩大,方法也在快速改进。蔡晓布等于 2010 年对西藏高原 37 种草地植物中 70 个带根土样的 AMF 进行了研究,发现海拔对 AMF 多样性具有重要影响,4 000 ~ 4 600 m AM 真菌多样性最丰富,显著高于 3 700 ~ 4 000 m 及 >4 600 m 地带^[6]。Gai 等研究西藏色季拉山 AMF 多样性沿海拔梯度变化规律时发现,孢子密度与海拔呈负相关,但是 Shannon - Weiner 多样性与海拔关系不大^[7]。但到目前为止,引起 AMF 群落变化的驱动因素还不能被最终确定下来。目前,海拔对西藏高原 AMF 种群多样性、侵染率及孢子密度的影响等问题正日益受到国内外研究者的重视。为此笔者开展了海拔对藏

收稿日期:2014 - 11 - 11

基金项目:国家自然科学基金(编号:41161043)。

作者简介:赵 飞(1989—),女,河南平顶山人,硕士研究生,研究方向为植物营养。E - mail:zhaofei52502@163.com。

通信作者:蔡晓布,博士,教授,从事土壤与植物营养教学与研究。E - mail:xbcai21@163.com。

[2]熊康宁,池永宽. 中国南方喀斯特生态系统面临的问题及对策[J]. 生态经济,2015,31(1):23-30.

[3]王世杰. 喀斯特石漠化——中国西南最严重的生态地质环境问题[J]. 矿物岩石地球化学通报,2003,22(2):120-126.

[4]张中峰,黄玉清,莫 凌,等. 岩溶区 4 种石山植物光合作用的光响应[J]. 西北林学院学报,2009,24(1):44-48.

[5]曹轩峰,陈红武. 肾蕨栽培管理技术[J]. 北方园艺,2004(4):48-49.

[6]崔秋芳,先旭东,石章锁. 肾蕨的耐荫性及园林应用研究[J]. 现代农业科技,2007(19):24-25,30.

[7]林夏珍,卢 婷. 遮光对窄头藁吾形态及光合特性的影响[J]. 浙江林学院学报,2008,25(5):614-618.

[8]李小俊,张明如,张利阳,等. 太行山低山丘陵区 5 种木本植物光合特性的比较[J]. 浙江农林大学学报,2011,28(2):180-186.

[9]刘海岗,黄忠良. 不同附生植物种类光合生理生态特性的研究[J]. 湖北农业科学,2008,47(8):874-879.

[10]池永宽,熊康宁,张锦华,等. 喀斯特石漠化地区三种豆科牧草光合与蒸腾特性的研究[J]. 中国草地学报,2014,36(4):116-120.

[11]池永宽,熊康宁,王元素,等. 贵州石漠化地区灰绿藜和鹅肠菜

光合日动态[J]. 草业科学,2014,31(11):2119-2124.

[12]徐祥明,曹建华,李小方,等. 岩溶环境下牧草光合速率日动态和水分利用效率研究[J]. 江苏农业科学,2007(3):161-165.

[13]马阔东,高 丽,闫志坚,等. 库布齐沙地三种植物光合、蒸腾特性和水分利用效率研究[J]. 中国草地学报,2010,32(2):116-120.

[14]Pinker R T, Zhang B, Dutton E G. Do satellites detect trends in surface solar radiation? [J]. Science, 2005, 308(5723):850-854.

[15]钱璐璐,雷江丽,庄雪影. 华南地区 7 种常见园林地被植物水分适应性研究[J]. 中国园林,2012(12):95-99.

[16]孙启忠,桂 荣,那日苏,等. 赤峰地区不同生长年限沙打旺生产力的研究[J]. 中国草地,1999,05(5):30-35.

[17]沈 羽,张开梅,方焱明. 蕨类植物修复土壤与净化水体的研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):11-14.

[18]丁晓浩,何云核. 10 种观赏蕨类植物的耐阴性[J]. 江苏农业科学,2013,41(6):148-150.

[19]杨 劼,高清竹,乌力吉,等. 库布齐沙地油蒿蒸腾作用特征及其与环境因子的关系[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,1999,3(30):372-376.

北高寒草甸 AMF 影响的研究,对丰富菌根生态学理论,以及开展青藏高原 AMF 资源利用等均具有重要的理论意义。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域自然概况

研究区域位于 31°29'~31°55'N、92°28'~94°35'E 之间,海拔在 4 064~4 912 m。藏北地区地处青藏高原腹地,气候干寒,是全球气候变化的敏感地带,其草地面积约 34.2 万 km²,是藏北地区面积最大、最重要的生态系统,其间广泛分布的小嵩草或大嵩草为高寒草甸主要建群种,极具有区域典型的代表性。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 样品于 2013 年 9 月采集(AMF 孢子繁殖高峰期,此时孢子形态较为稳定、便于形态学鉴定),按照植被主要建群种的不同,在研究区域选取高山嵩草为采集样品,草层高度一般 3~5 cm。分别于各采样点按 2~30 cm 土层随机采集建群种植物带根土样各 3 份,同时采集寄主植物以鉴定种类。将每个采样区 3 个采样点的样品充分混合均匀,各组成 1 个混合样品(约 2.5 kg)。全部混合样品数为 10 个。采样同时进行全球定位系统(GPS)定位,记录采样地点、海拔高度等以备再次取样(表 1)。

1.2.2 土壤 pH 值测定 pH 值的测定采用电位法;有机质、有效磷(P₂O₅)测定分别采用重铬酸钾容量法-外加加热法、NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法(表 1)。

表 1 藏北高寒草甸不同海拔高度的土壤理化特征

海拔(m)	纬度(N)	经度(E)	pH 值	速效磷(mg/kg)	有机质(g/kg)
4 064	31°40.442'	94°35.695'	7.65	9.66	9.58
4 121	31°55.645'	93°57.403'	7.17	7.95	6.75
4 272	31°49.120'	92°51.165'	7.54	9.23	5.90
4 318	31°53.853'	93°01.717'	7.93	8.76	7.78
4 452	31°45.049'	92°39.623'	8.15	7.09	6.55
4 562	31°55.799'	93°12.963'	7.40	7.19	6.88
4 605	31°52.822'	93°28.863'	7.47	9.64	7.19
4 783	31°55.240'	93°19.938'	7.88	9.29	9.64
4 821	31°29.619'	92°07.815'	7.16	7.88	6.34
4 912	31°44.141'	92°28.496'	7.92	5.54	5.73

1.2.3 侵染率、孢子密度、菌丝密度测定 (1)在实验室将土壤中的根系洗出,均匀剪成 1 cm 长的根段,采用 KOH-曲利苯蓝染色法测定 AM 真菌侵染率和侵染强度,在 200 倍显微镜下观测侵染点、丛枝、孢囊。(2)分别从各根土样中取 20 g 根围土壤,采用湿筛倾析-蔗糖离心法分离孢子,用少量去离子水将筛内孢子小心转移至培养皿中,在解剖镜下计数。(3)采用 Jakobsen 的真空泵微孔滤膜抽滤泵法,将载玻片置于 200 倍显微镜下观察 25 个样点。

1.3 数据处理

1.3.1 孢子密度(SD) 指每 20 g 风干根层土样中所有 AM 真菌种的孢子数/土壤样品质量。

1.3.2 多样性指数 (1)Shannon-Weiner 指数($H = \sum P_i \times \ln P_i$; $P_i = N_i/N \times 100\%$)。式中: P_i 为某样点 AM 真菌种 i 的孢子密度 N_i 占该样点总孢子密度 N 的百分比。(2)物种均匀度指数(采用 Pielou 指数计算,即 $J = H/\ln S$)。式中: H 为 Shannon-Weiner 指数; S 为某采样区 AM 真菌的种类数)。

(3)物种丰度(采用 Margalef 指数 Ma 表示。 $Ma = (S - 1)/\ln N$)。式中: S 为某采样区 AM 真菌的种类数; N 为采样区所有 AM 真菌数。(4)Simpson 多样性指数($D = 1 - \sum P_i^2$)。式中: P_i 为某样点 AM 真菌种 i 的孢子密度占该样点总孢子密度的百分比)。

2 结果与分析

2.1 不同海拔高度对侵染效果的影响

众多研究表明,沿着海拔梯度变化,不同的菌根类型会形成不同的侵染模式,如外生菌根侵染率在不同海拔基本不变,而 AMF 侵染则沿海拔降低^[8];同时海拔跨度的大小也会影响菌根的侵染模式,在较小的海拔梯度上 Väre 等发现一些似欧石南属菌根和 AMF 的侵染率随海拔升高呈现不变甚至增加的趋势^[8]。由图 1 可知,嵩草植物根系的侵染率在各海拔均比较高;总体上呈现先增高后降低的趋势,但海拔间侵染率仍存在差异,在 4 121 m 时较低,随后逐渐升高,在 4 452 m 时达到最高值后逐渐降低,在最高海拔时嵩草根系侵染率显著下降。

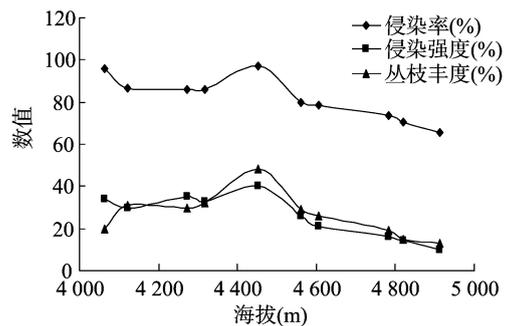


图 1 不同海拔高度的植物根系侵染效果

2.2 不同海拔高度对孢子密度的影响

针对 AMF 孢子密度的海拔分布格局不确定,藏南和藏北的 AMF 孢子密度随海拔的增加而增加^[9],蔡晓布在西藏不同类型草地的研究中也发现了类似的结果^[10]。由图 2 可知,土壤中的孢子密度随海拔的升高总体上呈现先升高后降低的趋势,在 4 064~4 562 m 时,不同海拔的孢子密度差异显著;随着海拔升高,孢子密度在波动中逐渐升高,在 4 452 m 时达最高值,>4 562 m 时孢子密度急剧下降,降幅达 60% 左右,与以上研究结果一致。

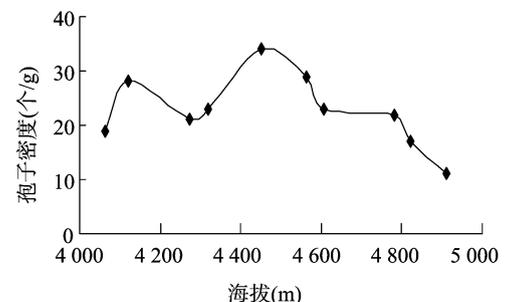


图 2 不同海拔高度的植物根围孢子密度

2.3 不同海拔高度对菌丝密度的影响

由图 3 可知,总体上来说,嵩草根际土壤中的菌丝密度随着海拔的升高呈现先逐渐升高后降低的趋势,不同海拔间差异显著。嵩草根际土壤菌丝密度在 4 272 m 时达到较高值,

随后逐渐降低。在 4 562 m 时出现异常,比 4 783 m 略高,但差异不显著;在 4 605 m 时达到最低值,与 4 272 m 时相比有差异。

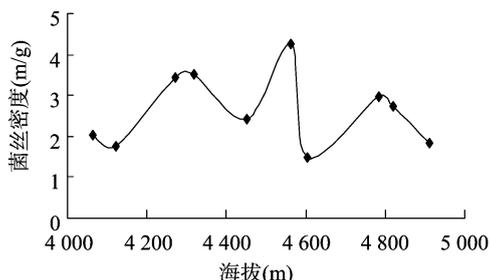


图3 不同海拔高度的菌丝密度

2.4 不同海拔高度对 AMF 种群多样性的影响

生物多样性沿环境梯度的变化规律是生物多样性研究的一个重要议题^[11],描述不同海拔高度对 AMF 种群多样性影响的数据至关重要。由图 4 可知,在一定范围内物种丰度随海拔上升先升高后降低,在 4 121 ~ 4 452 m 物种丰度最高;Shannon - Weiner 多样性指数在一定范围内随海拔升高先升高后降低,在 4 121 ~ 4 452 m 达到最大;Simpson 指数随海拔升高显著降低,在 4 121 ~ 4 452 m 达到较大值;均匀度指数在一定范围内随海拔上升先升高后降低,海拔影响明显,在 4 121 ~ 4 452 m 之间均匀度最大。

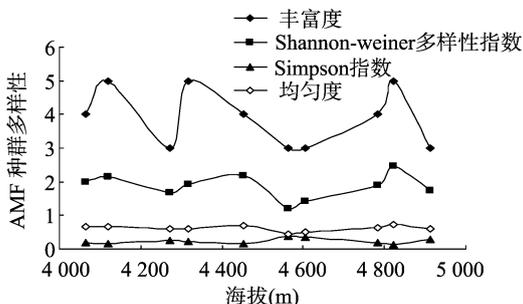


图4 不同海拔高度的种群多样性

3 结论与讨论

不同海拔高度的测定结果表明,嵩草的孢子密度、菌丝密度、侵染率均是先升高后降低,在中间海拔出现最高值,也表现为 AMF 孢子密度与菌根侵染率、菌根侵染强度无相关性;AMF Shannon - Weiner 多样性指数和物种丰度在一定范围内随海拔先升高再降低,有规律地在 4 121 ~ 4 452 m 出现最大值。

研究发现,地理与气候环境对 AMF 及其多样性具有极其重要的影响。一般而言,温度(包括土壤温度)是自然生态系统中决定 AM 真菌种群组成、发育与侵染的主要生态因子^[12]。除受海拔梯度上的温度变化影响外,土壤因子也是重要的影响因素。土壤中的孢子密度呈现先升高后显著降低的趋势(图 2),而侵染率没有明显的变化,表明孢子密度和侵染率没有相关性,与相关研究结果^[13]一致。具体分析 AM 真菌的侵染、产孢与土壤 pH 值、有效磷、有机质的关系后发现,影

响孢子密度的土壤因子主要受 pH 值和速效磷的影响。本研究中 AM 真菌孢子密度与 pH 值呈正相关,与蔡晓布等在青藏高原草地研究 AM 真菌出现的结果相同;有效磷与侵染率呈负相关,与蔡晓布等的研究结果^[13]一致,但是发现孢子密度与有效磷含量呈显著正相关,与相关研究结果^[7]不一致,可能是因为高寒草甸土壤有效磷含量普遍较低,未达到可以抑制产孢的程度。通过计算 Shannon - Weiner 多样性指数、物种丰度与海拔梯度进行回归分析,发现 AMF 并非随机分布,而呈现特定模式即随海拔升高,AMF 孢子的群落多样性降低。同样现象也出现在蔡晓布等对西藏高山草原 AMF 生态分布的研究中^[6],表明在一定范围内,较高海拔环境有利于物种多样性的提高。一般而言,莎草科植物不能或不易形成菌根^[12],但 AMF 对高草根系的侵染明显,未体现海拔过高对植物菌根发育所具有的抑制作用,这是否与生存于高寒草甸中的 AMF 特定种群对寄主植物根系具有很强的侵染能力有相互关系,仍须进一步研究阐明。

参考文献:

- [1] Van der Heijden M, Boller T, Wiemken A, et al. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure[J]. *Ecology*, 1998, 79: 2082 - 2091.
- [2] Read D J. Mycorrhizas in ecosystems[J]. *Experientia*, 1991, 47: 376 - 391.
- [3] Pietikainen A, Kytoviita M M, Husband R A. Diversity and persistence of arbuscular mycorrhizas in a low - Arctic meadow habitat[J]. *New Phytologist*, 2007, 176(3): 691 - 698.
- [4] Haselwandter K, Read D J. Fungal associations of roots of dominant and sub - dominant plants in high - alpine vegetation systems with special reference to mycorrhiza[J]. *Oecologia*, 1980, 45: 57 - 62.
- [5] Schmidt S K, Sobieniak - Wiseman L C, Kageyama S A, et al. Mycorrhizal and dark - septate fungi in plant roots above 4 270 meters elevation in the Andes and Rocky Mountains[J]. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 2008, 40: 576 - 583.
- [6] 蔡晓布, 彭岳林, 盖京苹. 西藏高山草原 AM 真菌生态分布[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(10): 2635 - 2644.
- [7] Gai J P, Tian H, Yang F Y, et al. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity along a Tibetan elevation gradient[J]. *Pedobiologia*, 2012, 55: 145 - 151.
- [8] Väre H, Vestberg M, Euro S. Mycorrhiza and root associated fungi in Spitsbergen[J]. *Mycorrhiza*, 1992, 1: 93 - 104.
- [9] 范洁群. 西藏不同类型草原丛枝菌根真菌多样性的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [10] 蔡晓布. 青藏高原草地生态系统丛枝菌根真菌物种多样性及其分布特征[D]. 北京: 中国农业大学, 2012.
- [11] Kratochwil A. Biodiversity in ecosystems: some principles[M]// Kratochwil A. *Biodiversity in ecosystems*. Dordrecht, Holland: Kluwer Academic Publishers, 1999: 5 - 38.
- [12] 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 148 - 169.
- [13] 蔡晓布, 钱成, 彭岳林, 等. 环境因子对青藏高原草地植物丛枝菌根真菌的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(5): 859 - 864.