

川西亚高山带森林生态系统外生菌根的形成

宋福强^{1,2}, 田兴军^{1,*}, 杨昌林¹, 何兴兵¹, 陈 彬¹, 朱 静¹, 郝杰杰¹

(1. 南京大学生命科学院, 南京 210093; 2. 黑龙江大学生命学院微生物重点实验室, 哈尔滨 150000)

摘要: 利用样方法于 2003 年 8 月对四川西部亚高山带分布的川滇高山栎 (*Quercus aquifolioides*)、云杉 (*Picea asperata*)、红桦 (*Betula albosinensis*)、山杨 (*Populus davidiana*)、铁杉 (*Tsuga chinensis*)、华山松 (*Pinus armandi*)、落叶松 (*Larix japonica*) 和冷杉 (*Abies faxoniana*) 8 个主要森林类型的外生菌根进行了调查。结果表明, 所有调查的森林类型均被外生菌根真菌所侵染, 不同森林类型的宿主植物外生菌根的侵染强度不同, 同种森林类型由于受海拔高度、坡度、林龄等条件的影响, 植物的菌根侵染率、侵染强度指数以及细根生物量都发生相应的改变。高山栎林型随着海拔高度的增加, 土壤上层 (0 ~ 20cm) 菌根侵染率增高、下层 (20 ~ 40cm) 菌根侵染强度指数增大, 土壤上下层有效磷浓度都明显减少; 坡度小的云杉林型内上下两层细根生物量、菌根侵染率都高于坡度大的云杉林, 但是菌根侵染强度指数却较低; 相同立地条件下, 云杉林型在种群建立 (幼林龄) 和衰退 (成过熟林) 时菌根侵染率和侵染强度指数都显著高于种群相对稳定 (中林龄) 时期, 在养分较为肥沃的土壤环境中, 菌根侵染率、侵染强度指数与营养因子不存在明显的相关性; 山杨、落叶松、冷杉和红桦林型土壤上层菌根侵染率都超过了 65%; 华山松林型由于坡度最大 (50°), 其土壤上层菌根侵染强度指数也最大 (55.78%); 铁杉林型菌根形成状况最差, 但细根生物量最大。亚高山带森林类型中的上层植物细根生物量都显著高于下层, 表明植物的营养主要由上层根系所输送。

关键词: 亚高山森林; 外生菌根; 菌根侵染率; 菌根侵染强度指数; 细根生物量

文章编号: 1000-0933 (2006) 12-4171-08 **中图分类号:** Q938.1 **文献标识码:** A

Ectomycorrhizal infection intensity of subalpine forest ecosystems in western Sichuan, China

SONG Fu-Qiang^{1,2}, TIAN Xing-Jun^{1,*}, YANG Chang-Lin¹, HE Xing-Bing¹, CHEN Bin¹, ZHU Jing¹, HAO Jie-Jie¹

(1. School of Life Science, Nanjing University, Nanjing, 210093, China; 2. Key Laboratory of Microbiology, Life Science College, Heilongjiang University, Harbin 150000, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4171 ~ 4178.

Abstract: Ectomycorrhizal infection intensity in the eight primary forests namely hollyleaf alpine oak (*Quercus aquifolioides*), China spruce (*Abies faxoniana*), chinapaper birch (*Betula albosinensis*), wild poplar (*Populus davidiana*), China hemlock (*Tsuga chinensis*), huashan pine (*Pinus armandi*), larch (*Larix japonica*), taxon fir (*Abies faxoniana*) in subalpine forest zone of western Sichuan China was investigated with sampling method in August 2003. The results showed that the investigated forests were all infected by ectomycorrhizae fungi. Intensity index of ectomycorrhizal infection in different forest types were different. In a homogeneous forest, the altitude, slope and forest age influenced the infection rates, infection intensity index of mycorrhizae and fine-root biomass. In the alpine oak (*Quercus aquifolioides*) forests, infection rate of mycorrhizae in upper soil layer (0 ~ 20cm) and infection intensity index of mycorrhizae in lower layer (20 ~ 40cm) increased but the concentration of available P decreased in

基金项目: 国家重大基础研究计划 (973) 资助项目 (2002CB111504); 教育部博士点基金资助项目 (20030284044); 国家自然科学基金资助项目 (30470299, 30571493)

收稿日期: 2005-09-09; **修订日期:** 2006-05-20

作者简介: 宋福强 (1969 ~), 男, 黑龙江省齐齐哈尔市人, 博士, 主要从事森林微生物学研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tianxj@nju.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by the National Key Basic Foundation of China (No. 2002CB111504); Scientific Research Foundation for Doctoral Supervising Laboratory, State Education Ministry of China (No. 20030284044); National Natural Science Foundation of China (No. 30470299, 30571493)

Received date: 2005-09-09; **Accepted date:** 2006-05-20

Biography: SONG Fu-Qiang, Ph. D., mainly engaged in forest microbiology.

both layers with the increase of attitude. Fine roots biomass and infection rate of mycorrhizae in both upper and lower layers were higher, but the Mycorrhizal infection intensity index were lower in the lower slope than the upper slope of Chinese spruce (*Picea asperata*) forest. In the same site of China spruce forest, infection rate and infection intensity index of mycorrhizae were obviously higher at initial stage (young age) and aged stage (matured and over-matured) than at steady stage of the community. In fertile soil, Mycorrhizal infection rate and infection intensity index have no remarkable correlation with nutrient concentrations. In the wild poplar, larch, taxon fir and chinapaper birch forests infection rates of mycorrhizae in upper soil layer(0—20cm were over 65%. Due to the slope of Huashan pine forest was the highest (50°), its intensity index of ectomycorrhizal infection was also the highest (55.78%). The infection rate in China hemlock forest was the lowest, but biomass of fine roots was the highest.

In subalpine forests, fine-root biomasses in upper soil layers were higher than those in lower layers, indicating that plant nutrition was mainly conveyed by upper root system.

Key words: subalpine forest; ectomycorrhizae; infection rate of mycorrhizae; infection intensity index of mycorrhizae; fine root biomass

菌根真菌与植物的共生关系是维护森林生态系统稳定和发展的基础。在植物定殖伊始,菌根菌就与植物形成了动态的共生体系。由于外生菌根具有较低根际的 pH 值(与有机酸的分泌有关)作用,对磷、氮有直接影响,同时能够增加 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子子的有效性,促进宿主植物对这些元素的吸收,维护和促进植物种群的健康发展^[1,2]。菌根的菌丝将森林中的树木个体联系形成一个整体,从而使森林成为复杂的营养和功能互动网络,其中每一成员都能共享森林的物质资源^[3,4],维护着森林生态系统的平衡稳定。

世界上虽然仅有 3% 的陆地植物形成外生菌根,但亚高山带的森林大部分为外生菌根的宿主植物^[5]。菌根不仅可促进植物的营养吸收、生长发育,提高植物对干旱、盐碱、极端温度及有害金属元素等的抗性,而且对保持土壤的良好结构、控制水土流失等具有直接的作用^[6]。关于林木外生菌根的调查我国已经开展过一些研究,但所研究的内容主要为外生菌根真菌的种类及生态分布^[7~11]。而关于亚高山带森林生态系统中宿主植物的外生菌根形成状况与生态环境间的关系未见系统的报到。因此,开展亚高山带森林生态系统中的菌根真菌与宿主和环境之间相互关系的研究,进一步认识在特殊立地环境条件下菌根对森林生态系统中的作用,对亚高山带森林生态系统的建设与保护具有十分重要的意义。

1 方法

1.1 研究地区自然地理概况

调查样地位于四川省阿坝州理县米亚罗林区北纬 30°29'~30°31',东经 102°3'~103°6',处于青藏高原东南边缘的邛崃山脉东坡、岷江支流杂古脑河上游。属于季风山地气候,夏季湿润多雨,冬季寒冷干燥。年平均气温 6~12℃,1 月份平均气温 -8℃,7 月平均气温 12.6℃,年降水量 600~1100mm,年蒸发量为 1000~1900mm。土壤为棕壤,成土母质主要为千枚岩、板岩、白云岩等残积风化物,土层薄,石砾含量高。本项研究选择了不同森林类型和同种森林类型的不同生态梯度如海拔高度、坡度、林龄等进行调查,对各种林型的外生菌根形成状况、细根生物量和根际养分含量等进行了调查和分析。关于该区域的植被描述,详见四川植被^[12]。

1.2 取样

(1) 在每一研究林型选设样地,取样面积为 20m×20m,记录样地的基本信息如海拔、坡度、土壤等指标。然后,在样地内随机选定 20cm×20cm 的土壤样方 5 个,对每个小样方分为上下两层(上层深为 0~20cm,下层深为 20~40cm)取样。采用孔径为 0.05cm 的土壤筛筛出根样和土样,将根样慢慢地装入塑料封口袋中,取约 0.5kg 的滤出土样装入信封中(要及时风干),做好标记,带回实验室做进一步处理。取样时间为 2003 年 7 月下旬。

(2) 根样的处理,把样根用 5%氯化钠溶液浸泡 8~10h 以上,使得粘附土壤与根样分离。再把根样装入 200 目的网筛,清水冲洗 30min,获得洁净的根样。称取直径 <5mm 样根的鲜生物量,然后随机选取部分样根放到装有 FAA 固定液(配方:福尔马林 5ml、冰醋酸 5ml、70%酒精 90ml,用时稀释 1 倍)的小瓶中保存,带回实

验室进行菌根检测。

1.3 分析方法

(1) 侵染率检测 将根从 FAA 固定液中取出,充分洗净,用剪刀剪成 1.0cm 长的小段,每一份样品取 30 段,在体式显微镜下观察、计数形成菌根的根段数,统计菌根侵染率。菌根侵染率(%)=(形成菌根根段数/被检根段总数)×100。

(2) 侵染强度指数(%) 由于被检测根段上的须根形成的菌根数不等,于是采用侵染强度指数这一概念来表示菌根被侵染的强度。侵染强度分四级,没有形成菌根的为一级,代表值为 0;1~2 个须根形成菌根的为二级,代表值为 1;3~4 个须根形成菌根时为三级,代表值为 2;4 个以上须根形成菌根时为四级,代表值为 3。侵染强度指数采用下列公式计算:

侵染强度指数(%) =
$$\frac{\sum(\text{侵染根段数} \times \text{代表数值})}{(\text{检查根段总和} \times \text{侵染最高一级的代表数值})} \times 100$$

(3) 土壤养分测定 全氮采用凯式法,参照 GB 7848-87;全磷采用氢氧化钠碱溶-钼锑抗比色法,参照 GB 7852-87;水解氮采用碱解-扩散法,参照 GB 7849-87;有效磷采用盐酸浸提-钼锑抗比色法,参照 GB 7853-87;速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法,参照 GB 7856-87。

应用 SPSS version 10.0 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 海拔对高山栎林型外生菌根的影响

高山栎(*Quercus aquifolioides*)林型在米亚罗山区分布广泛,生长在阳坡坡度 15°~18°高山上,从海拔 2700m 到 3300m 均有分布。在海拔高度不同的高山栎林型内设立标准地进行取样、调查。结果表明不同海拔高度的高山栎林型上层(0~20cm)菌根侵染率、侵染强度指数以及细根生物量均大于下层(20~40cm)(图 1、图 2)。这说明林地土壤表层是植物营养吸收的主要场所。

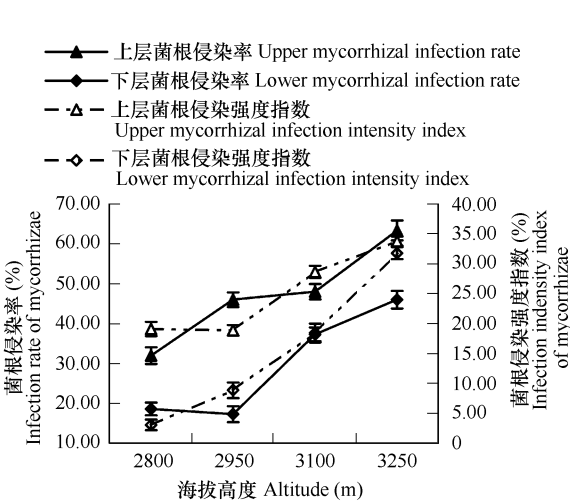


图 1 不同海拔高度的高山栎菌根侵染情况

Fig.1 Infection of Alpine Oak mycorrhizae at different altitudes

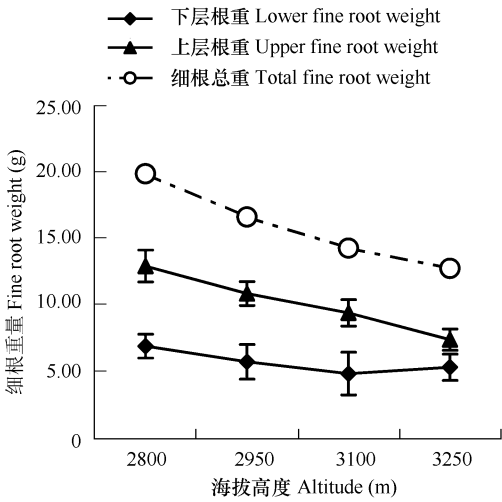


图 2 海拔高度对高山栎林型细根生物量影响

Fig.2 Influence of altitude on fine root biomass of Alpine Oak forests

海拔对高山栎林型菌根侵染率及菌根侵染强度指数影响较大。海拔从低向高的变化过程中,菌根侵染率也出现由低向高增长的趋势,与上层细根的菌根侵染率几乎成线性增长。高海拔(3250m)高山栎林型上、下两层菌根侵染率分别是低海拔(2800m)的 1.98 和 2.46 倍。菌根侵染强度指数与菌根侵染率变化趋势相同,特别是下层菌根侵染强度指数增幅较大,高海拔(3250m)是低海拔(2800m)的 10.22 倍,在高海拔处上下两层细根菌根侵染强度指数相差不大,而在最低处上层菌根侵染强度指数是下层的 6.14 倍。

与此相反,细根生物量却由于海拔的升高而逐渐减少,上层变化幅度较大,各取样点之间差异显著($p <$

0.05), 下层细根生物量变化幅度小, 差异不显著。但从最低海拔到最高海拔取样点的细根总生物量却减少了 35.8 %。

菌根真菌对宿主植物的侵染程度受多种因素所制约, 一般认为与根际土壤养分关系较为密切。通过对不同取样点根际养分分析发现, 不同海拔高度高山栎根际土壤养分中的有效磷、上层土壤中的水解氮和速效钾存在一定的差异性 ($p < 0.05$), 而全氮、全磷、下层土壤的水解氮和速效钾之间差异不显著(表 1)。因此可以认为在高山栎林内土壤养分中的有效磷、上层土壤中的水解氮和速效钾可能对菌根侵染率和侵染强度指数有一定的影响。

表 1 不同海拔高度的高山栎根际养分含量

Table 1 Nutrition concentration in the rhizosphere of the soils at different altitudes of Alpine Oak (*Quercus aquifolioides*) Forest

海拔 Altitude (m)	有效磷 Available phosphorus (mg/kg)		全磷 Total Phosphorus (g/mg)		水解氮 Hydrolysis Nitrogen (mg/kg)		全氮 Total Nitrogen (mg/g)		速效钾 Readily available potassium(mg/kg)	
	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower
2800	12.79a	7.51a	0.46a	0.37a	362.88a	187.66a	3.23a	2.16a	190.0b	127.5a
2950	10.20b	5.93b	0.38a	0.36a	249.48b	204.12a	3.12a	2.24a	307.5a	122.5a
3100	8.05c	2.60c	0.42a	0.34a	253.26b	181.44a	2.94a	2.17a	295.0a	117.5a
3250	6.18d	2.90c	0.44a	0.32a	374.22a	196.42a	3.18a	2.03a	212.5b	119.5a

同一列数字后小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ Data in the same column followed by the different lower case is significantly different ($p < 0.05$); 下同 the same below

从表 2 可以看出海拔高度与高山栎林型上层根系菌根侵染率和下层根系菌根侵染强度指数显著相关 ($p < 0.05$), 即随着海拔高度的增加, 上层菌根侵染率增高、下层菌根侵染强度指数增大; 只有上层根系的细根生物量与侵染率之间表现出显著的负相关 ($p < 0.05$), 菌根侵染率的增加在一定程度上可以弥补由于植物根系吸收根量的不足而引起的养分亏缺。试验中测定的各种养分指标中只有有效磷与上层根系菌根侵染率表现出显著的相关性, 虽然无法说明是由于“贫磷”促进了菌根的形成, 还是由于根系形成大量的菌根后增加了对磷的吸收, 而使根际土壤“贫磷”现象的产生, 但仍然可以肯定这种负相关性对高山栎的生长起着重要的作用。

表 2 高山栎菌根侵染参数与其它因子相关系数

Table 2 Correlation coefficients between infection parameters of Alpine Oak mycorrhizae and some relative factors

相关因子 Relative factors	海拔 Altitude	细根生物量 Fine root biomass	有效磷 Available phosphorus	水解氮 Hydrolysis nitrogen	速效钾 Readily available potassium
上层菌根侵染率 Upper mycorrhizal infection rate	0.966 *	- 0.981 *	- 0.964 *	0.099	0.121
上层菌根侵染强度指数 Upper mycorrhizal infection intensity index	0.944	- 0.924	- 0.924	0.278	- 0.127
下层菌根侵染率 Lower mycorrhizal infection rate	0.932	- 0.706	- 0.907	- 0.263	- 0.769
下层菌根侵染强度指数 Lower mycorrhizal infection intensity index	0.985 *	- 0.721	- 0.875	0.039	- 0.767

* 显著相关, $p < 0.05$ Denoting significant correlation between corresponding variables ($p < 0.05$)

2.2 坡度对云杉林型外生菌根的影响

在林龄、海拔高度相同, 但坡度相差较大的云杉林内设立样地, 其中一块样地坡度小于 50° (A 样地), 该样地土层较厚, 水分状况良好, 根际土壤各项养分含量指标较丰富(表 3); 另一块样地坡度大于 48° (B 样地), 由于坡度太大, 土层较薄、养分相对贫瘠(表 3)且水土流失较为严重, 林型内真菌个体数量也相对较少。从图 3 测定的结果可以看出, 云杉林型是外生菌根营养型树种, 无论是 A 样地还是 B 样地均具有较高的菌根侵染率。A 样地上、下两层样品的菌根侵染率均高于 B 样地, 但侵染强度指数低于 B 样地, 特别是 B 样地下层菌根侵染强度指数 (32 %) 显著高于 A 样地 (13.33 %), 这可能是菌根真菌与林木形成菌根过程中对环境适应的一种适合性反映。在特殊立地条件下, 菌根真菌一旦和细根建立了共生关系, 就表现出很高的侵染强度。高强

度的菌根侵染无疑于对特殊立地的森林生态系统中的能流和物流起着重要的作用 ,对整个群落的稳定起着重要的作用 ,以此弥补由于环境条件不利于植物群落稳定的不足。

表 3 不同坡度云杉根际土壤养分含量

坡度 Gradient (°)	有效磷 Available phosphorus (mg/kg)		全磷 Total phosphorus (mg/g)		水解氮 Hydrolysis nitrogen (mg/kg)		全氮 Total nitrogen (mg/g)		速效钾 Readily available potassium(mg/kg)	
	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower
48	13.91	7.14	0.49	0.44	378.00	204.12	3.13	1.68	285.0	220.0
5	29.49	8.71	0.70	0.53	438.48	215.46	3.91	2.28	330.0	260.0

两块样地上层细根生物量均大于下层 ,且 A 样地显著高于 B 样地 ,A 样地总细根生物量是 B 样地的 1.67 倍 (图 4)。

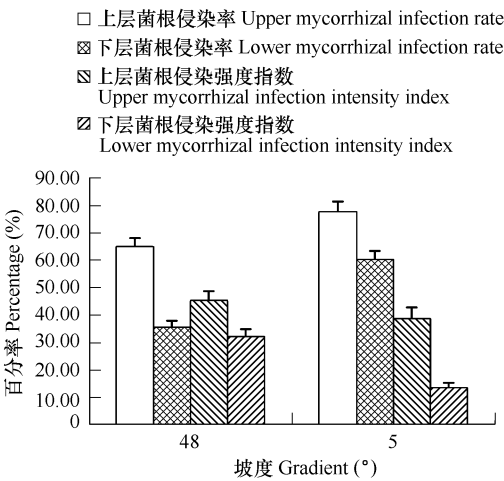


图 3 坡度对云杉菌根侵染的影响

Fig. 3 Influence of gradient on mycorrhizal infection of China spruce forest

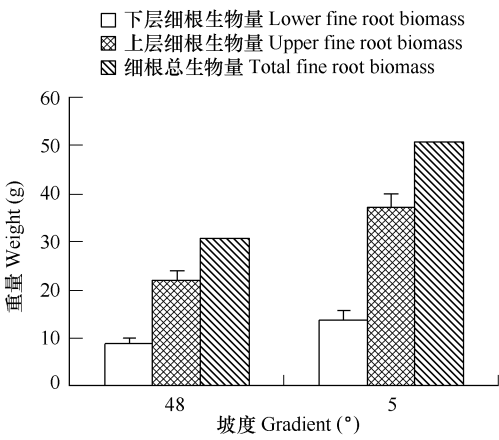


图 4 坡度对云杉细根生物量的影响

Fig. 4 Influence of gradient on fine root biomass of China spruce forests

2.3 不同林龄云杉林型外生菌根的侵染强度

云杉林是米亚罗森林生态群落中最为典型和普遍的森林类型 ,是该地区主要的人工林群落。近百年来 ,该地区在不同时期都有造林。选择海拔 (3100m 左右)、坡度 (12 ~ 15 °) 差异较小而林龄不同的 6 块标准地进行了调查研究。从图 5 可以看出不同林龄的云杉均被外生菌根真菌侵染 ,但由于林龄不同而形成的菌根侵染率和侵染强度指数差异较大。低龄云杉 (20 年生) 无论所取样品的上层根系还是下层根系受菌根侵染率、侵染强度指数都最高 ,而后随着林龄的增加菌根侵染率也逐步减少 ,在 60 年生的云杉林型细根样品中检测的菌根侵染率最低 (上层 :34.67 % ,下层 :26.67 %) ,而后随着林龄的增加菌根侵染率也开始增加 ,并且在原始林中检测上下两层样品的菌根侵染率分别是 60 %、49.33 %。各林龄云杉林型上层菌根侵染率都大于下层 (图 5)。

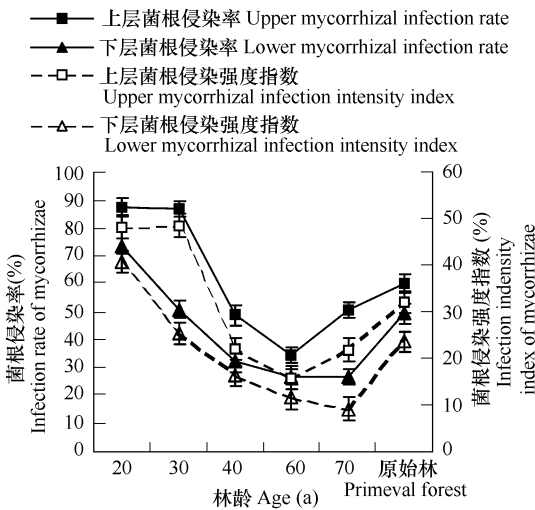


图 5 不同林龄云杉受菌根真菌侵染情况

Fig. 5 Effects of mycorrhizal in fection on various age of China spruce forests

随着云杉林龄的增加,细根生物量也在发生相应改变。低龄林(20、30 年生)细根生物量较少,而后开始增加,60 年生的云杉林型中细根总生物量达到了最高(25.54g),原始林(110~115 年生)中细根生物量最少,总量只有 13.93g(图 6)。细根生物量的这种变化趋势与菌根侵染率、侵染强度指数表现一定的负相关。各林龄云杉林型的上层细根生物量都大于下层,这说明上层(0~20cm)土壤仍然是植物营养物质吸收的主要场所。

通过对各取样点土壤养分测试分析发现,各林龄云杉林型内土壤都比较肥沃,特别是有效磷、水解氮和速效钾这些可以直接被植物吸收利用营养元素的含量无论是上层土壤或是下层土壤都比较丰富,且上层土壤养分含量均大于下层(表 4)。不同林龄样地内的土壤养分含量尽管表现出一定的差异,但与菌根侵染率、侵染强度指数以及细根生物量之间不存在一定的相关性。这表明,在相同的立地条件下,较为肥沃的土壤养分含量对不同林龄的云杉受菌根真菌侵染情况与细根的空间分布不产生明显影响。

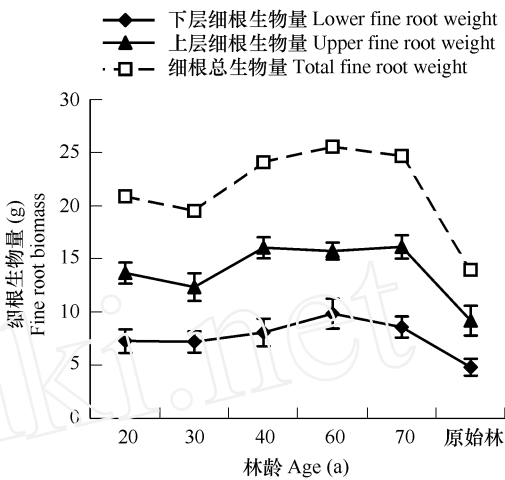


图 6 不同林龄云杉细根生物量
Fig. 6 Fine root biomass of various aged China spruce forests

表 4 不同林龄云杉林型内土壤养分含量

Table 4 Nutrient concentration of soils in various aged China spruce forests											
林龄 Age (a)	有效磷 Available phosphorus (mg/kg)		全磷 Total phosphorus (mg/g)		水解氮 Hydrolysis nitrogen (mg/kg)		全氮 Total nitrogen (mg/g)		速效钾 Readily available potassium(mg/kg)		
	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	上层 Upper	下层 Lower	
20	29.02b	25.20b	1.09a	0.94a	348.62b	287.28c	3.73b	2.94c	295.0c	232.5b	
30	25.48c	23.53b	0.80b	0.89a	372.5a	323.60a	4.92a	4.71a	260.0d	202.5c	
40	30.22b	21.12c	1.04a	0.97a	347.76b	325.08a	3.35c	3.29b	257.5d	197.5c	
60	24.67c	29.20a	0.80b	0.69b	321.54c	309.96b	3.84b	2.79c	317.5c	227.5b	
70	28.66b	23.10b	0.76b	0.75b	368.38a	273.88c	3.33c	2.80c	400.0a	352.5a	
原始林 Primeval forest	33.28a	25.57b	0.82b	0.70b	331.36c	301.36b	3.18c	3.30b	340.0b	225.0b	

2.4 其它森林类型中外生菌根形成状况

对米亚罗山区的红桦(*Betula albo-sinensis*)、山杨(*Populus davidiana*)、铁杉(*Tsuga chinensis*)、华山松(*Pinus armandi*)、落叶松(*Larix japonica*)和冷杉(*Abies faxoniana*)6 个主要森林类型中的外生菌根侵染情况进行了调查。结果表明不同森林类型的宿主植物外生菌根的侵染强度不同。从表 5 可以看出,这 6 个森林类型都具有较高的外生菌根侵染率。

表 5 不同林型细根生物量、菌根侵染率、侵染指数及样地状况一览表

Table 5 The fine root biomass, mycorrhizae infection rate, mycorrhizae infection index and plot condition of various forest types									
林型 Forest type	林龄 Age (a)	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope (°)	上层 Upper(0~20cm)			下层 Lower(20~40cm)		
				侵染率 Infection rate (%)	侵染指数 Infection index (%)	细根生物量 Fine root biomass (g)	侵染率 Infection rate (%)	侵染指数 Infection index (%)	细根生物量 Fine root biomass (g)
红桦 <i>Betula alborsinensis</i>	40	2840	37	66.67	29.33	10.56	62.00	37.11	6.99
山杨 <i>Populus davidiana</i>	20	2780	30	75.33	42.67	17.02	50.67	22.22	12.57
铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>	210	2810	29	40.67	19.56	36.97	44.67	27.56	12.62
华山松 <i>Pinus armandi</i>	180	2800	50	32.00	55.78	16.42	45.33	40.89	8.36
落叶松 <i>Larix gmelini</i>	70	3200	8	78.67	46.89	9.63	40.00	17.56	8.64
冷杉 <i>Abies faxoniana</i>	230	3135	32	70.00	44.00	12.52	50.67	36.67	6.56

山杨、落叶松、冷杉和红桦林型上层菌根侵染率都超过了 65%,特别是落叶松林型上层菌根侵染率最高,达到了 78.67%,这可能与落叶松林型所处的地理位置有关(海拔相对最高、坡度最小)。华山松林型上层菌根侵染率最低(32.00%)、侵染强度指数最大(55.78%),这可能由于华山松林型所在坡度最大(50°)有关,但其下层菌根侵染率、侵染强度指数都较高。铁杉林型菌根侵染率、侵染强度指数都较低,下层的菌根侵染率和侵染强度指数都超过了上层,这表明铁杉下层菌根的功能和作用也不容忽视。铁杉林型的细根生物量在 6 个林型中最高,特别是上层细根生物量远远大于其它林型。

3 讨论

生态系统的每个过程都伴随着各种微生物的活动,其中最重要的功能群之一是菌根真菌。这些菌类的菌丝体与植物根系结合形成菌根,使得植物养分供应得到了很大的提高,使不同种属植物的根系联在一起。提高森林生态系统中植物的多样性、稳定性和生产力,是外生菌根菌对森林树木的主要作用之一^[13]。而从严格的意义上讲,构成北方和亚高山带森林的树木没有真正的根系,只有外生菌根,外生菌根才是这些树木的营养吸收器官^[14]。菌根的形成使树木的潜在生态位(Potent niche)能够较大限度地转变为现实生态位(Realized niche)^[15]。因而使树木能在广阔的时空里得以生存发展。本文通过对川西亚高山带森林生态系统外生菌根形成状况的研究发现,植物群落由于受环境影响要么菌根侵染率较高、要么菌根侵染强度指数较高、要么细根生物量较高,以此来适应环境条件的变化。进一步表明,在特殊立地环境条件下,外生菌根对保持森林群落系统的稳定性起着重要的作用。

大量的实验已经证明了亚高山带的树木在与菌根菌共生的情况下能吸收利用枯枝落叶中的有机养分^[16~19]。本研究中对每一取样点人为的分为上下两层(0~20cm、20~40cm),调查结果不仅表现细根分布不均匀性(上层显著高于下层),而且上层细根的菌根侵染率和侵染强度指数也都基本高于下层,这种状况进一步表明菌根有利于植物对枯枝落叶层中营养元素的吸收利用。外生菌根菌能直接吸收枯枝落叶层中的有机氮和有机磷供宿主树木利用,可使营养元素循环途径发生改变,这对亚高山森林生态系统的发生发展和稳定性的维持可能具有重要意义^[5]。

植物生长代谢需要的磷大部分是由菌根菌提供的,磷在菌根菌和植物根系营养代谢的交流中处于中心位置^[20]。菌根菌的磷代谢同时促进了植物的氮代谢作用^[20],经常发现具有菌根的树种对周围植物的生长发育具有类似于施用氮肥的效果,这可能与菌根菌同化土壤中的铵盐有关^[21]。菌根在贫瘠的土壤状态下为植物矿物营养元素提供了有效的吸收和传输系统^[22]。Arocena 等认为,外生菌根菌能使亚高山冷杉根周围土壤溶液中的营养矿物元素浓度远远高于根围以外的土壤^[1]。而本研究中,亚高山带林木根际周围土壤养分含量高时,菌根侵染率和侵染强度指数与养分含量没有相关性,但当植物根际周围养分含量低时,菌根侵染率和侵染强度指数却与养分存在负相关性,这表明菌根真菌对亚高山建群树种的作用不仅表现在对养分的吸收,同时更重要的作用可能是有助于植物抵御其它的极端环境。

References:

- [1] Arocena J M, Gowa K R. Mineral weathering in ectomycorrhizosphere of subalpine fir (*Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt.) as revealed by soil solution composition. *Forest Ecology and Management*, 2000, 133: 61~70.
- [2] Jentschke G, Bandes B, Kuhn A J, et al. The mycorrhizal fungus *Paxillus involutus* transports magnesium to Norway spruce seedlings. Evidence from stable isotope labeling. *Plant and Soil*, 2000, 220: 243~246.
- [3] Helgason T, Daniell T J, Husband R, et al. Ploughing up the wood+weed web? *Nature*, 1998, 394:431.
- [4] Dahlberg A. Community ecology of ectomycorrhizal fungi: an advancing interdisciplinary field. *New Phytologist*, 2001, 50: 555~562.
- [5] Yang G T, Song G L, Gao X X. The Significance of Ectomycorrhizas in Forest Ecosystems: the Influence of Ectomycorrhizas on Host Trees. *Journal of Northeast Forestry University*, 1999, 27(6): 72~77.
- [6] Lin X M, Li Z X, Han D X. Mycorrhiza and restoration of vegetation. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(2): 167~170.
- [7] Zhu T H, Zhang J, Hu T X, et al. The Study on Ectomycorrhizal Fungi Associated with Eucalyptus in Sichuan. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2001, 19(2): 137~140.

- [8] Wang S Q, Xu L H. A study on the Ectomycorrhizal fungi Associated with the mainly economic lignum. Journal of Liaoning Forestry Science & Technology, 2002, 2: 17 ~ 20.
- [9] Bai S L, Yan W, Ma R H, *et al.* Investigation of ECM Fungi Resources in Mt. Daqing and Mt. Manhan. Journal of Mountain Science, 2001, 19(1): 44 ~ 47.
- [10] Tang M, Chen H, Guo J L, *et al.* A study of the Ectomycorrhiza of Poplar. Scientia Silvae Sinicae, 30(5): 437 ~ 442.
- [11] Hua X M, Jiang C Q. Floristic Survey of Ectomycorrhizal Fungi for the Southern pine in China. Journal of Nanjing Forestry University, 1995, 19(3): 29 ~ 36.
- [12] Sichuan Vegetation, Cooperation group of Sichuan Vegetation. Chengdu: Sichuan People Press, 1980. 159 ~ 166.
- [13] Zhu J J, Xu H, Xu M L, *et al.* Review on the ecological relationships between forest trees and ectomycorrhizal fungi. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(6): 70 ~ 76.
- [14] Brundrett M, Bougher N, Dell B, *et al.* Working with Mycorrhizae in Forestry and Agriculture. Canberra: Piric Print, 1996.
- [15] MacMahon J A, Schimpf D, Andersen D C *et al.* An organism — centered approach to some community and ecosystem concepts. Journal of Theoretical Biology, 1981, 88: 287 ~ 307.
- [16] Schinell J P, Chapin F S. Tundra plant uptake of amino acid and NH_4^+ , nitrogen in situ: plants compete well for amino acid. Ecology, 1996, 77: 2142 ~ 2147.
- [17] Naeshom T, Ekblad A, Nordin A, *et al.* Boreal forest plant take up organic nitrogen. Nature, 1998, 392: 914 ~ 916.
- [18] Melin E, Nilsson H. Transfer of labeled nitrogen from glutamic acid to pine seedlings through the mycelium of *Beletus variegatus* (Sw.) Fr. Nature, 1953, 171: 134.
- [19] Read D J. Mycorrhizas in Ecosystems. Experientia, 1991, 47: 376 ~ 391.
- [20] Preffer P E, Bagp B, Shachar-Hill Y. Exploring mycorrhizal function with NMR spectroscopy. New Phytologist, 2001, 150: 543 ~ 553.
- [21] Finlay R D, Odham H E, Soderstrom GB. Mucelial uptake translocation and assimilation of nitrogen from ^{15}N -labeled ammonium by *Pinus sylvestris* plants infected with four different ectomycorrhizal fungi. New Phytologist, 1998, 110: 59 ~ 66.
- [22] Marschner H, Dell B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil, 1994, 159: 89 ~ 717.

参考文献:

- [5] 杨国亭, 宋关玲, 高兴喜. 外生菌根在森林生态系统中的重要性. 外生菌根对宿主树木的影响. 东北林业大学学报, 1999, 27(6): 72 ~ 77.
- [6] 林晓民, 李振峡, 韩德俊, 等. 菌根与植被恢复. 干旱地区农业研究, 2003, 21(2): 167 ~ 170.
- [7] 朱天辉, 张健, 胡庭兴, 等. 四川桉树外生菌根真菌的研究. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 137 ~ 140.
- [8] 王淑清, 徐丽华. 东北主要用材树种外生菌根真菌资源调查研究. 辽宁林业科技, 2002, 3: 17 ~ 20.
- [9] 白淑兰, 闫伟, 马荣华, 等. 大青山、蛮汗山外生菌根真菌资源调查. 山地学报, 2001, 19(1): 44 ~ 47.
- [10] 唐明, 陈辉, 郭建林, 等. 陕西省杨树外生菌根种类的调查研究. 林业科学, 30(5): 437 ~ 442.
- [11] 花晓梅, 姜春前. 我国南方松外生菌根资源调查. 南京林业大学学报, 1995, 19(3): 29 ~ 36.
- [12] 四川植被协作组. 四川植被. 成都: 四川人民出版社, 1980. 159 ~ 166.
- [13] 朱教君, 徐慧, 许美玲, 等. 外生菌根菌与森林树木的相互关系. 生态学杂志, 2003, 22(6): 70 ~ 76.