

高黎贡山土壤微生物的数量和多样性*

张萍¹ 郭辉军² 刀志灵³ 龙碧云¹

1(中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 昆明 650223)

2(中国科学院昆明分院, 昆明 650022)

3(中国科学院昆明植物研究所, 昆明 650204)

摘要 本文从分解者亚系统水平,研究了高黎贡山海拔1000~3100 m的不同植被下土壤中微生物的数量和多样性,对不同海拔高度、不同植被下的12份土壤样品,进行了微生物数量、真菌多样性及养分含量的测定,结果得出:细菌、真菌、放线菌数量和真菌多样性随海拔不同而变化,最高值出现在海拔2000 m左右,其植被下土壤微生物的数量和多样性最高,随海拔升高或降低均呈下降趋势,在山底降到较低水平。土壤微生物随海拔高度的变化与生态因子呈现不同程度的相关性,其中,微生物的数量和多样性与气温、有机质之间的相关性最大,除细菌数量与气温、真菌数量与有机质外,都达到了显著的水平;与有效氮、土壤含水量之间的相关性次之;而与速效磷和速效钾的相关性较差。说明影响高黎贡山土壤微生物数量和多样性垂直分布的主要生态因子是气温、土壤有机质和有效氮含量、土壤含水量,现有土壤磷和钾含量的变化对土壤微生物数量和多样性的影响相对较小。

关键词 高黎贡山,微生物数量和多样性,生态因子,相关性

A study on quantity and diversity of soil microorganisms in Gaoligong Mountains/ZHANG Ping¹, GUO Hui-Jun², DAO Zhi-Ling³, LONG Bi-Yun¹

Abstract The quantity and diversity of soil microbe were studied in different vegetation types in Gaoligong Mountain, Yunnan. The quantities of microbes, diversity of fungi, and the amount of nutritions were examined in 12 soil samples, which were collected from different habitats with the elevation ranging from 1000 to 3000 meters. The result showed that the quantities of bacteria, fungi, actinomyces, and diversity of fungi varied with elevation. The highest values occurred at the elevation of about 2000 meters, and they decreased as the elevation increased or decreased. The lowest values appeared at bottom of the Mountains. The correlations between soil microbes and the ecological factors varied. The quantities and diversity of soil microbes were significantly correlated with temperature and organic matter except that there were no significant correlations between the quantity of bacteria and temperature, as well as between quantity of fungi and organic matter. In contrast, they correlated less with effective nitrogen and soil moisture content, much less with quick acting phosphorus and quick acting potassium. The results indicate that the main ecological factors influencing the quantity and diversity of soil microbes were temperature, organic matter, effective nitrogen, and soil moisture content.

Key words Gaoligong Mountains, quantity and diversity of microbe, ecological factor, correlation

Author's address 1) Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, The Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223;

2) Kunming Branch, The Chinese Academy of Sciences, Kunming 650022;

3) Kunming Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204

高黎贡山位于滇西北中缅边境的横断山地区,由于有多种多样的森林类型和生物资源,早已引起世界性的广泛关注,并已于1983年被确定为国家级自然保护区。高黎贡山由于南北切

收稿日期:1999-02-23;修改稿收到日期:1999-05-18

* 麦克阿瑟基金会项目(Grant No. #94-28488A-WER)和云南省科委国际合作计划项目(Grant No. #95-C-001)资助

割剧烈,南段相对高差在 2500 m 左右,形成了明显的生物、气候垂直带谱,分布着多种植被类型。山体上半部(1880 m 以上)的植被保存较好,生物资源十分丰富;而下部(1500 m 以下)有村庄分布,近 10 年来由于人口激增,森林大量被砍伐、放牧和开垦为农田或人工纯林,次生林也片断化,山底部的植被基本上已被砍光。植被的破坏在导致生态环境恶化和土壤退化的同时,必然对土壤微生物产生重大影响,也威胁着自然保护区的森林和生物资源。如何加强高黎贡山森林资源管理和生物多样性保护,已成为一个亟待解决的课题,并引起了国内外学者的广泛关注。

土壤微生物是陆地生态系统中最活跃的成分,担负着分解动植物残体的重要使命,推动着生态系统的能量流动和物质循环。植被生长的好与坏和土壤微生物的生长活动密切相关,而微生物的生长是多生态因子综合作用的结果。我们从 1995 年起,对高黎贡山的森林类型和生物资源进行了为期 3 年的调查研究,力图高黎贡山森林资源管理与生物多样性保护提供科学依据。本文是土壤微生物研究的部分结果。

1 材料与方法

1.1 采样

研究地点位于云南省西北部保山地区境内。我们的调查路线是高黎贡山南段东坡,从海拔 1000 m 的怒江峡谷经白花岭村到海拔 3100 m 的山顶斋公房,平均海拔每升高 200 m 做一个植被样方,土壤取样在样方中进行。1995 年 8~9 月以混合取样法采取微生物集生的表层土壤(0~20cm),共取土样 12 个,供试土壤的基本情况见表 1。

样地的主要植物种类:No. 14 有无毛杜鹃(*Rhododendron speciferum*)、可喜杜鹃(*R. dichroanthum* var. *apodectum*)和漾濞夹迷(*Viburnum chingii*)等;No. 15 有云南铁杉(*Tsuga dumosa*)、滇藏钓樟(*Lindera obtusiloba*)和多脉茵芋(*Skimmia inultinervia*)等;No. 12 有云南松(*Pinus yunnanensis*)、马樱花(*R. delavayi*)和旱冬瓜(*Alnus nepalensis*)等;No. 13 有华南石栎(*Lithocarpus fenestratus*)、云南金叶子(*Craibiodendron yunnanensis*)和白穗石栎(*L. leucostachyus*)等;No. 6 有短刺栲(*Castanopsis echidnocarpa*)、旱冬瓜和陇川山茶(*Camellia wardii*)等;No. 7 有栓皮栎(*Quercus variabilis*)、佤山栲(*Castanopsis ceratacantha*)和红木荷(*Schima wallichii*)等;No. 2 有刺栲(*C. mystrix*)、高山栲(*C. delavayi*)、红木荷和银木荷(*S. argentea*)等;No. 3 有圆叶米饭花(*Lyonia ovalifolia*)、佤山栲和小叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)等;No. 4 有大叶栎(*Q. griffithii*)、高山栲和红木荷等;No. 5 有高山栲、红木荷和刺栲等;No. 9 有青冈(*C. glauca*)、柯子(*Terminalia chebula*)和余甘子(*Phyllanthus emblica*)等;No. 10 有灰毛浆果楝(*Cipadessa cinerascens*)、柯子和余甘子等。

1.2 土壤微生物的数量测定

细菌、真菌、放线菌的数量采用稀释平板法测定^[1]。

1.3 土壤小型真菌的分离鉴定,采用文献[2]和[3]所提供的方法。

1.4 土壤小型真菌多样性指数的测度

物种多样性的研究方法和测度指数比较多,本文根据土壤真菌和各测度指数的特点及取样数据的类型,选择应用了 Shannon-Wiener 指数(H')和 Simpson 指数(D)^[4]:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

$$D = 1 / \sum P_i^2 \quad (2)$$

表 1 供试土壤的基本情况

Table 1 The characteristics of soil samples

样地号 Plot no.	海拔(m) Altitude	植被类型 Vegetation type	枯落物量 ^① (kg/m ²)	年均气温 ^② (℃)	土壤含 水量 ^③ (%)	有机质 ^④ (%)	有效氮 ^⑤ (mg/kg)	速效磷 ^⑥ (mg/kg)	速效钾 ^⑦ (mg/kg)
14	3100	高山灌丛草甸 Alpine bush meadow	0	6.49	81.0	8.60	352.5	1.0	63.1
15	2830	针阔混交林 Mixed coniferous broad-leaved forest	1.20	8.19	55.9	6.20	263.2	1.1	25.9
12	2560	针阔混交林 Mixed coniferous broad-leaved forest	2.97	9.89	116.0	11.66	329.4	0.5	112.4
13	2410	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	1.69	10.84	104.3	17.90	346.5	0.5	81.2
6	2200	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	1.61	12.16	106.7	16.59	537.3	1.8	120.1
7	1990	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	1.29	13.49	72.4	19.38	442.8	1.3	140.6
2	1880	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	0.85	14.18	70.5	14.48	335.0	0.6	119.2
3	1820	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	0.78	14.56	55.2	6.79	189.0	0.9	251.7
4	1630	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	0.57	15.76	31.8	2.54	113.1	1.1	106.2
5	1400	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	0.92	17.21	46.4	3.14	124.3	1.0	81.8
9	1210	干热河谷稀树灌丛 Dry-hot valley sauana shrub	0.24	18.40	27.9	1.65	61.6	2.7	101.3
10	1000	干热河谷稀树灌丛 Dry-hot valley sauana shrub	0	19.73	25.4	1.80	51.5	2.7	97.0

注:①Amount of litter; ②Annual mean temperature; ③Soil moisture content; ④Organic matter; ⑤Effective nitrogen; ⑥Quick-acting phosphorus; ⑦Quick-acting potassium

以上(1)和(2)式中 P_i 是第 i 个属的多度比例, 可以用 $P_i = n_i/N$ 求出; n_i 是第 i 个属的菌株数; $N = \sum n_i$, 为全部属的菌株数之和。

以上两种多样性指数在动、植物群落研究中通常以种为测度单位, 但由于研究方法方面的困难, 以属和科等较高分类阶元为多样性的测度单位也能反映一个特定群落的物种多样性特征^[5]; 同时, 群落多样性的测度是从动物群落多样性的测度发展起来的, 因此, 其测度指标多为个体数目。在植物个体数目计数困难的草甸植物群落中, 用盖度、生物量以及重要值等作为测度指标计算群落多样性指数, 优于以株数作为测度指标计算的结果^[6], 且动物群落也有以群体数作为测度指标计算多样性指数的报道^[5]。迄今为止, 人们试图选择易于取得的指标进行多样性指数的计算。在土壤微生物研究中, 由于分离鉴定的困难, 土壤真菌群落多鉴定到属。本文应用以上公式, 根据微生物的特点, 以菌株数为计算依据, 测度了土壤真菌属级的多样性指数。

1.5 生态因子的测定

年平均气温来自文献[7];土壤生态因子采用文献[8]中常规的化学方法。

2 结果与讨论

2.1 高黎贡山土壤微生物数量的分布

微生物数量是衡量微生物生长的一个重要指标。由表2可见,高黎贡山细菌、真菌和放线菌数量随海拔高度的变化基本是一致的,呈明显的垂直分布。高海拔植被下的土壤微生物数量较低,随着海拔的降低,微生物生长逐渐加快,微生物数量最高值出现在海拔2000 m左右,即No.7、No.6、No.2样地土壤微生物的数量最高。而高黎贡山下半部随海拔降低,土壤微生物数量逐渐减少,生长也逐渐减慢,低海拔(1000 m左右)植被下的土壤微生物数量已降至较低水平。

表2 不同海拔下各土样的微生物数量(单位:×10⁴个/克·干土)
Table 2 The variation of soil microbial quantity with elevation (×10⁴ ind./g dry soil)

样地号 Plot no.	海拔(m) Altitude	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomyces	微生物总数 Total number
14	3100	244.5	0.6	1.1	6.2
15	2830	234.0	1.4	13.5	248.9
12	2560	226.8	15.1	13.8	255.7
13	2410	143.2	16.4	2.9	162.5
6	2200	614.7	11.4	23.2	649.3
7	1990	689.6	23.7	112.1	825.4
2	1880	464.2	20.9	80.9	566.0
3	1820	353.3	27.2	79.2	459.7
4	1630	332.7	12.5	94.5	439.7
5	1400	318.4	16.8	41.4	376.6
9	1210	262.2	8.9	76.7	347.8
10	1000	219.6	2.6	100.4	322.6

2.2 高黎贡山土壤真菌多样性的变化

Shannon-Wiener指数和Simpson指数测度的结果见图1。图1显示了高黎贡山从海拔

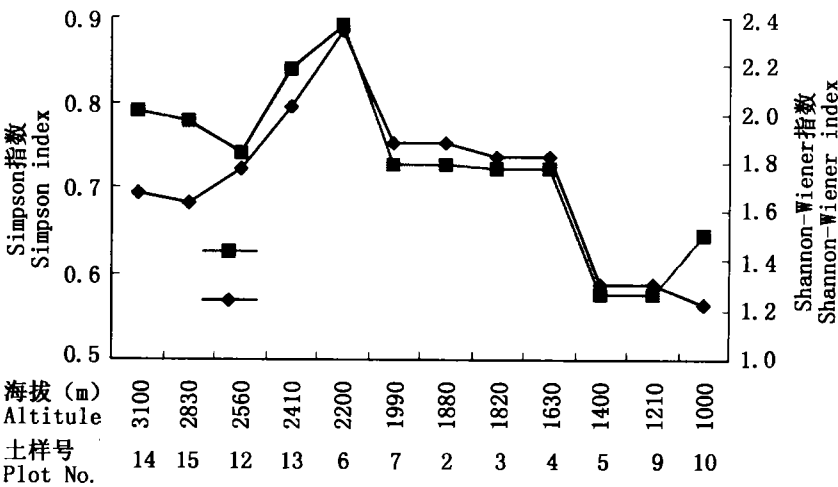


图1 高黎贡山土壤的真菌多样性
Fig.1 The diversity of soil fungi in Gailigong Mountains

1000 m 至 3100 m 的不同植被下土壤真菌的多样性数值。从图 1 可见,两个多样性指数反映出基本一致的趋势。高黎贡山上半部(海拔 1880 m 以上)的多样性指数较高(Simpson 指数在 0.7 以上,Shannon-Wiener 指数在 1.6 以上),其中又以 No. 6、No. 13、No. 7、No. 2 样地(海拔 1880~2410 m)最高,下半部随海拔降低,多样性指数呈降低趋势,低海拔(1000~1400 m)的植被(No. 5、No. 9、No. 10),多样性指数较低。真菌多样性指数的测定结果与微生物数量的测定结果基本是一致的。从属的分布来看,在山中部的植被下分离到的属最多, No. 2、No. 7、No. 6 土样平均分离到 12 个属 22.7 株菌;其次为高海拔的植被, No. 12、No. 15、No. 14 土样平均分离到 7.0 个属 12.3 株菌;海拔较低的植被分离到的属最少, No. 5、No. 9、No. 10 土样平均分离到 6.3 个属 18.3 株菌。

2.3 高黎贡山土壤微生物数量及多样性与生态因子之间的相关性

微生物区系受其生长环境所控制。影响土壤微生物的主要环境因素包括土壤含水量、土壤温度、pH 值、有机物质和无机养料的供应等,其它因素如人类活动、植被、季节和土壤深度的影响是通过主要因素起作用的^[9],而土壤温度又与气温有直接的关系^[10]。我们测定了高黎贡山气温和土壤生态因子对土壤微生物的影响。

表 3 高黎贡山生态因子与土壤微生物间的相关分析(R 值, n = 12)
Table 3 Correlation between soil microbes and ecological factors

微生物指标 Microbial index	土壤含水量 (%) Soil moisture content	年均气温 (℃) Annual mean temperature	有机质 (%) Organic matter	有效氮 (mg/kg) Effective nitrogen	速效磷 (mg/kg) Quick-acting phosphorus	速效钾 (mg/kg) Quick-acting potassium
细菌数量 Bacteria quantity	0.4690	0.5721	0.5771 *	0.7051 *	0.6076 *	0.5414
真菌数量 Fungi quantity	0.2757	0.8631 **	0.4394	0.2631	0.4376	0.7824 **
放线菌数量 Actinomycetes quantity	0.6938 *	0.8025 **	0.5980 *	0.519	0.4239	0.5826 *
微生物总数 Total quantity	0.5000	0.6148 *	0.7732 **	0.6693 *	0.3126	0.5525
Simpson 指数 Simpson index	0.7533 **	0.8003 **	0.7643 **	0.8121 **	0.4847	0.1233
Shannon 指数 Simpson index	0.7450 **	0.8629 **	0.8122 **	0.8317 **	0.5539	0.2789

* 为 $\alpha=0.05$ 显著水平 $\alpha=0.05$ significant level; ** 为 $\alpha=0.01$ 显著水平, $\alpha=0.01$ significant level

从表 3 看出,高黎贡山土壤微生物的数量和多样性与各生态因子之间均有不同程度的相关性,其中,与气温、有机质之间的相关性最大,除细菌数量与气温、真菌数量与有机质外,都达到了显著的水平;与有效氮、土壤含水量之间的相关性次之,而与速效磷和速效钾的相关性较差。说明影响高黎贡山土壤微生物数量和多样性垂直分布的主要生态因子是气温、土壤有机质、有效氮含量和土壤含水量,现有土壤磷和钾含量的变化对土壤微生物的数量和多样性影响相对较小。

高黎贡山土壤微生物的数量变化受气温的影响明显,山顶气温低,不利于微生物生长繁殖;随海拔降低气候变得温暖,微生物数量增加(表 2),各类微生物的数量与气温之间的相关性除细菌外都达到了显著水平(表 3),与土壤含水量之间的相关性仅放线菌数量达到显著水平。

高黎贡山土壤微生物数量和多样性的垂直分布亦与土壤有机质和有效氮含量显著相关,而土壤有机质和有效氮的含量又受人为干扰和植物群落类型的影响。不同海拔高度和人为干扰强度形成了不同的生境,发育着不同的植被类型,不同植物群落所形成的枯落物量和营养成分存在着一定差异,必然导致土壤微生物在各植物群落中分布的不均一性,从而形成不同的土壤养分状况。在高黎贡山上半部,从山顶向下随海拔降低,植被变化为高山灌丛草甸→针阔混交林→常绿阔叶林,枯落物也变得易于被分解,加之水热条件的适宜,土壤微生物的生长繁殖加快,代谢旺盛,土壤有机质和有效氮含量增加,土壤微生物的数量和多样性增加;而高黎贡山下半部因有村落分布,近10年来由于人口激增,砍伐、放牧、农田和经济林木的大量开垦种植,使森林植被遭受破坏且片断化。随海拔降低村落数量增多且接近公路,上述人为干扰强度和频率增加,有些植被(如No.5样地)变成当地群众的砍柴山,山底部的植被基本上已被砍光,人为活动、放牧等使地表裸露,土壤板结,水土流失严重,植被由常绿阔叶林向干热河谷稀树灌丛过渡,枯落物量减少,土壤微生物的数量和多样性降低,土壤有机质和有效氮的含量也减少,在山底降到最小值。

Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数的梯度变化,可在一定程度上间接说明生境条件的差异。一般而言,生境条件越适宜,多样性就越高,也就是说,群落的多样性指数可用来衡量其环境的优劣。高黎贡山中部土壤真菌的两个多样性指数均较高,说明这一地段的生境条件适宜于大多数土壤真菌的生长;下半部随海拔降低,多样性指数的变化,在某种程度上说明随海拔降低,土壤微生物的生长环境恶化。研究得出,影响土壤真菌多样性的生态因子主要是气温、土壤有机质、有效氮含量和土壤含水量,它们与两个多样性指数之间的相关性均达到了极显著的水平(表3)。

高黎贡山上半部的植被保存较好,尤以海拔2000 m左右的常绿阔叶林发育良好,土壤微生物的生长代谢旺盛,土壤养分含量丰富,为自然保护区周围生存的22万人口提供了丰富的自然资源。而下半部的人为干扰在使森林植被遭受破坏的同时,也对土壤微生物和土壤养分产生了很大程度的影响。目前应对高黎贡山的森林和生物资源妥善管理和保护,避免这一状况的进一步恶化。

致谢 本文在修改过程中,得到中科院西双版纳热带植物园朱华博士和冯志立先生的帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 中国科学院南京土壤研究所微生物室编著. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985
- 2 中国科学院微生物研究所. 常见与常用真菌. 北京: 科学出版社, 1973
- 3 魏景超. 真菌鉴定手册. 上海科学技术出版社, 1979
- 4 Pielou E C. Ecological diversity. John Wiley & Sons. 1975
- 5 于登攀, 邹仁林. 鹿回头岸礁造礁石珊瑚物种多样性的研究. 生态学报, 1996, 16(5): 469~475
- 6 马克平, 黄建辉, 于顺利等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究. 生态学报, 1995, 15(3): 268~277
- 7 黄大华, 傅绍铭. 高黎贡山山地气温的分布特征. 气象, 1985, 11(11): 18~21
- 8 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 上海科学技术出版社, 1978
- 9 M. 亚历山大著(广西农学院农业微生物学教研组译). 土壤微生物学导论. 科学出版社, 1983
- 10 刘玉洪. 哀牢山北段山地的地温气候资源分析. 自然资源学报, 1993, 8(2): 158~165