

广东黑石顶常绿阔叶林土壤 微生物量的研究*

杨家诚 张宏达 王伯荪

(生物学系)

摘要 本文用基质诱导呼吸(Substrate Induced Respiration)方法(SIR)和选择抑制方法对黑石顶常绿阔叶林的土壤微生物量和真菌、细菌在微生物量中的相对比例进行了测定。A层的土壤微生物量为 $316.19\sim 531.43\mu\text{g C}_{\text{mic}}/\text{g}$ 干土重, AB层为 $152.30\sim 224.37\mu\text{g C}_{\text{mic}}/\text{g}$ 干土重, 其中细菌占2/3以上。土壤微生物量以及真菌、细菌在其中所占的相对比例都呈现季节性变化, 这与气候及凋落物的分解有关。土壤微生物代谢系数($q\text{CO}_2$)及土壤微生物量与土壤有机质碳比($\text{C}_{\text{mic}}/\text{C}_{\text{org}}$)显示, 该生态系统的土壤微生物维持在较低的耗能状态并保持较多有机质。

关键词 亚热带, 土壤微生物量, 真菌, 细菌

土壤微生物作为有机物质的还原者具有极其重要的生态学意义。在物质循环过程中, 养分通过贮存在土壤微生物体内, 而避免流失, 并为植物体提供稳定的养分来源^[1~3]。这个养分贮存库的大小则用土壤微生物量表示^[4,5], 这样便能对生态系统中的土壤微生物作更准确的定量研究。

氯仿熏蒸培养(Choloform Fumigation Incubation)方法^[6](CFI)可认为是测定土壤微生物量的一个较可靠的途径。基质诱导呼吸(Substrate Induced Respiration)方法^[7](SIR)与CFI具有直线相关关系。在此基础上, Heinemeyer等人^[8]研制出与SIR配套使用的以计算机、红外线二氧化碳分析仪为核心的仪器设备, 使到SIR的使用更加完善。本文就是利用这套设备首次较全面地研究了黑石顶亚热带常绿阔叶林的土壤微生物。

1 采样与分析的方法

1.1 样地和采样

广东省封开县境内的黑石顶自然保护区($111^{\circ}53'W, 23^{\circ}27'N$)位于北回归线上, 在现存的约4000ha林地中, 覆盖着常绿阔叶林, 分布有101种蕨类, 6种裸子植物, 1282种双子叶植物和218种单子叶植物。该区海拔高度在80至900m之间, 年平均气温 19.6°C , 最冷月1月份为 10.6°C , 4至9月份为雨季, 年平均降水量1743.8mm, 相

本文1991年5月29日收到

• 国家自然科学基金资助项目

对湿度在80%以上^[9]。黑石顶地区位于花岗岩山体上,在海拔700m以上分布有山地黄壤,其余则大都为红壤^[9,10]。

本研究样地是该保护区中1700m²常绿阔叶林永久试验地,与陈章和等人^[11]的完全一致。该处海拔约200m,坡度约20°至40°。样地以20m×20m分格,并随机选14个点作土壤剖面,记录剖面位置。每次均在各对应相同位置采样,采样日期是:1989年9月2日,11月20日;1990年1月6日,5月23日和7月5日,共5次。采样时先清除地表的凋落物,然后分别取A层和AB层的土壤约1kg,除去根系后放入塑料袋中,袋口扎棉花塞以避免厌气发酵。样品在实验室过筛(筛孔为2mm)后,保湿使之维持在约-400kPa的水分张力,然后保存在4℃中。在作微生物学测定以前,土壤均置于22℃中平衡至少一天。混合土样由等量干重的各个样品配成,混合后平衡至少两周。混合样约2kg,用于测定土壤微生物量中真菌、细菌所占的相对比例。

1.2 分析测定的方法

10g新鲜过筛土加入25ml蒸馏水或1mol/L KCL 溶液中,用离子计和复合电极测定土壤pH值。有效磷(P_{ava})用稀氢氟酸(HF)提取;有效钾(K_{ava})用醋酸铵(NH₄AC)提取。过筛新鲜土于103℃烘至恒重后,用玛瑙研钵磨成粉末用于测定土壤有机质碳(C_{org})、全氮(N_t)、全磷(P_t)和全钾(K_t)。C_{org}、N_t和P_t是经过重铬酸钾(K₂C₂O₇)湿热氧化或酸氧化后用比色法测定,样品中不含无机质碳。K_t用光焰光度计测定。以上测定在中山大学地理学系土壤分析室完成。

土壤微生物量(C_{mic})用SIR方法^[7]借助Heinemeyer等人^[8]研制自动设备测定。在预备实验中发现3000~4000ppm的葡萄糖刚可以诱导出土壤微生物产生最大的呼吸反应。葡萄糖以2:3的比例与作为介质的滑石粉混合,加入40g干重的新鲜过筛土后,用电动搅拌器充分混匀。处理好的样品在22℃中测定,通过样品的空气流量和二氧化碳浓度每隔0.5h测定1次,每次的测定值取10组读数(2秒间隔)的平均。C_{mic}即土壤微生物碳,根据Heinemeyer等人的工作^[8],通过下列公式计算出: $x = 40.04y$ 。其中,x为土壤微生物量(μg C_{mic}/g干土重);y为基质诱导的最大初始呼吸率(μl CO₂/g干土重/h)。

土壤基础呼吸是测定干重为40g的过筛新鲜土在不存在诱导基质及在以上同等条件下的土壤微生物呼吸(μl CO₂/g干土重/h)。

土壤真菌、细菌在生物量中的相对比例用选择抑制方法^[12]借助上述相同设备在同等条件下测定。所用的细菌抑制剂是硫酸链霉素(Streptomycin sulfate; SIGMA),用量为4000~5000ppm;真菌抑制剂是放线菌酮(Cycloheximide; SIGMA),用量是500~900ppm。两种抑制剂各自单独(B,C)和复合(D)使用,抑制受葡萄糖诱导的40g干重过筛新鲜混合土的微生物呼吸,通过与不受抑制剂抑制的诱导呼吸(A)比较,从而计算出真菌、细菌土壤微生物量中所占的比例。所有数据均取自抑制效应差异 $[A - (A - B) - (A - C)]/D$ 小于5%的范围。

2 结果

样地中共计有85种339株胸径大于1.5cm的植物。平均株距为1.44m,密度为0.436。

优势植物为小叶胭脂 (*Artocarpus styracifolius*), 硬叶稠 (*Lithocarpus lohangu*), 福建青冈 (*Quercus chungii*), 短花楠 (*Machilus breviflora*) 和黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*)^[11]。

土壤呈酸性, pH_{H_2O} 在4~5之间, pH_{KCl} 为3~5。土壤养分含量归纳于表1。在A

表1 土壤养分含量 (STD—标准差)
Tab. 1 Soil characteristics (STD—Standard deviation)

采样	层	样品 (n)	C _{org}		N _t		P _t	
			%	STD	%	STD	%	STD
1	A	14	2.63	1.15	0.24	0.05		
2	A	14	2.84	0.83	0.24	0.06	0.01	0.00
3	A	14	2.52	1.00	0.24	0.07		
4	A	14	2.48	0.97	0.35	0.10	0.02	0.02
5	A	14	2.84	0.78	0.30	0.05		
	平均 \bar{x}		2.66		0.27		0.02	
	STD		0.27		0.04			
1	AB	14	1.54	0.91	0.19	0.05		
2	AB	14	1.80	0.50	0.15	0.04	0.01	0.00
3	AB	14	1.27	0.76	0.15	0.05		
4	AB	14	1.51	0.57	0.26	0.08	0.01	0.00
5	AB	14	1.31	0.35	0.19	0.04		
	平均 \bar{x}		1.48		0.19		0.01	
	STD		0.33		0.04			
采样	层	样品 (n)	K _t		P _{ava}		K _{ava}	
			%	STD	ppm	STD	ppm	STD
1	A	14	1.31	0.26			152.50	40.20
2	A	14			6.66	3.24		
3	A	14	1.38	0.33			127.36	38.06
4	A	14			5.07	1.85		
5	A	14	1.12	0.29			106.61	20.12
	平均 \bar{x}		1.27		5.87		128.82	
	STD		0.11				18.76	
1	AB	14	1.25	0.25			93.75	35.77
2	AB	14			2.95	1.52		
3	AB	14	1.37	0.40			87.86	17.19
4	AB	14			2.47	1.77		
5	AB	14	1.11	0.30			77.32	22.55
	平均 \bar{x}		1.24		2.71		86.31	
	STD		0.11				6.80	

层, 11月份的土壤微生物量最低, 然后逐步增加, 7月份为最高峰(图1)。AB层的情况表现出比A层有所延迟, 即最低是1月份, 最高是9月份(图2)。A层的土壤微生物量比AB层的要高(表2)。

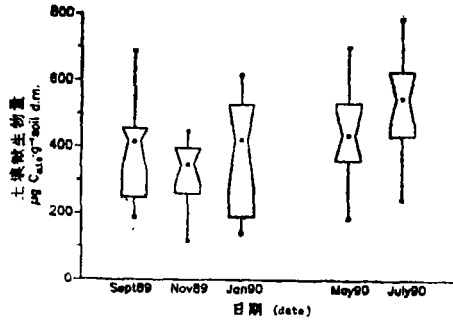


图1 黑石顶A层土壤微生物量的季节变化, 示最大值、最小值和中值, 其中的方框示算术平均值和标准差(下同)

Fig.1 Seasonal change of soil microbial biomass in Heishiding (A layer)

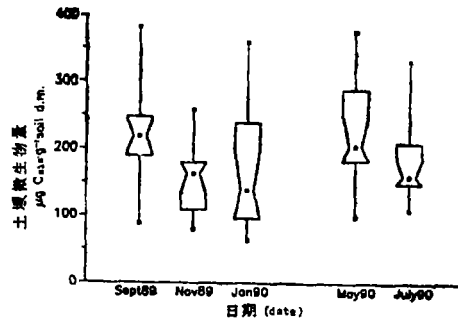


图2 黑石顶AB层土壤微生物量的季节变化

Fig.2 Seasonal change of soil microbial biomass in Heishiding (AB layer)

表2 土壤微生物学特性 (STD—标准差)

Tab.2 Soil microbiological characteristics (STD—Standard deviation)

采样层	样品(n)	C _{mic}		基础呼吸 R _{sp0}		C _{mic} /C _{org}		qCO ₂		
		µg/g. s.	STD	µl CO ₂ /g. s./h	STD	STD	STD			
1	A	14	379.82	144.56	1.77	0.64	15.66	8.24	2.66	0.15
2	A	14	316.19	103.53	0.74	0.23	11.28	4.03	1.35	0.48
3	A	14	381.85	164.63	0.69	0.26	14.84	5.01	1.04	0.07
4	A	14	454.11	143.93	1.06	0.52	18.37	4.47	1.25	0.08
5	A	14	531.41	146.96	1.03	0.43	18.64	4.44	1.09	0.09
	平均x		412.68		1.06		15.76		1.48	
	STD		73.70		0.39		2.68		0.60	
1	AB	14	223.95	74.91	0.79	0.28	19.34	19.90	1.98	0.13
2	AB	14	152.30	47.05	0.32	0.13	8.48	2.27	1.20	0.10
3	AB	14	169.85	97.17	0.37	0.20	13.22	5.30	1.45	0.15
4	AB	14	224.37	73.13	0.34	0.10	14.72	2.98	0.89	0.07
5	AB	14	180.35	54.97	0.31	0.14	13.75	3.59	0.95	0.08
	平均x		190.16		0.43		13.90		1.29	
	STD		29.17		0.18		3.47		0.40	

以土壤微生物量表示的养分贮存库在土壤系统中的相对大小用 C_{mic}/C_{org}(mg/g)这一指标来衡量。总体来说, A层土壤的 C_{mic}/C_{org}值大于AB层, 都呈现季节性变化, 最低值都出现在11月份(表2)。土壤微生物量与土壤有机质碳以及全氮都具有较好的直

线相关关系 (图 3, 4)。

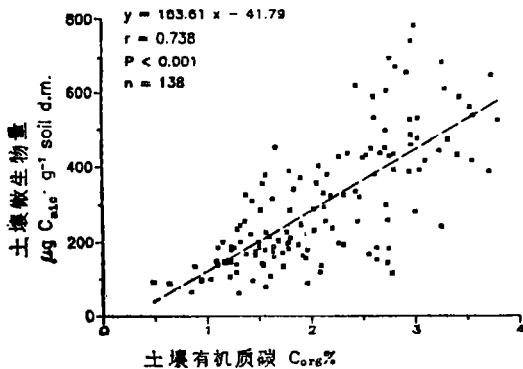


图 3 黑石顶土壤微生物量和土壤有机质碳的相关分析

Fig. 3 correlation coefficient of soil microbial biomass and organic carbon of Heishiding

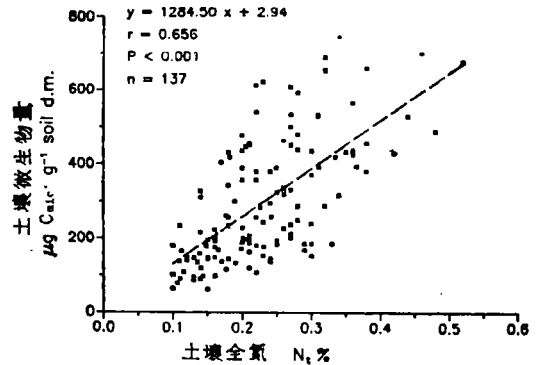


图 4 黑石顶土壤微生物量和土壤全氮的相关分析

Fig. 4 correlation coefficients of soil microbial biomass and total nitrogen of Heishiding

土壤微生物的新陈代谢除了反映在土壤基础呼吸以外, 还可以用代谢系数 (qCO_2)^[13] 来衡量, qCO_2 是单位时间 (h) 内, 土壤微生物在基础呼吸中所消耗的碳 (μg) 占土壤微生物量 (mg) 的比例。虽然 A 层和 AB 层间的土壤基础呼吸有显著的区别, 但是两者的 qCO_2 都处于相当的水平 (表 2)。

在土壤微生物量中细菌要比真菌占更大的比例。A 层和 AB 层土壤之间这个比例的季节性变化亦有所不同。5 月份 A 层土中细菌比例最高, 而同一时间, AB 层的则最低 (表 3)。

表 3 真菌、细菌在土壤微生物量中所占的相对比例

Tab. 3 Bacterial and fungal contribution to the C_{mic}

采样	层	硫酸链霉素 (ppm)	放线菌酮 (ppm)	细菌 (%)	真菌 (%)
2	A	4000~5000	500~900	68.90	31.10
4	A	5000	900	83.98	16.02
5	A	4000	500	74.42	25.58
2	AB	4500	700	89.52	10.48
4	AB	4500~5000	700~900	65.39	34.61
5	AB	4500	700	96.17	3.83

每个土壤微生物量的值都是同一样品 3 次测定的算术平均, 并且满足标准差 (STD) 小于 4.303。方差分析显示, 土壤微生物量在不同的采样时间 (自由度为 4) 和不同的土层 (自由度为 1) 都具有显著差异, 显著水平分别为 0.0486 和 0.0000。

3 讨 论

黑石顶的土壤微生物量与鼎湖山亚热带常绿阔叶林的土壤微生物量(393.6~653.4 $\mu\text{g C}_{\text{mic}}/\text{g}$ 干土重)^[14]处于相当的水平。鼎湖山(23°08'W, 112°35'E)位于黑石顶的东南部,两者同为华夏植物区系的一部分,具有极其相似的植物区系成分^[10]。这一紧密关系亦体现在土壤微生物量上。两者在数值上的差异主要有3方面的原因:第一,地理位置的不同使存在水热条件的差异。鼎湖山在黑石顶的东南面,年平均气温为21.6°C,年降水量为1926.9mm,气候比较温暖潮湿^[9],优越的水热条件使鼎湖山亚热带常绿阔叶林更有利于土壤微生物的生长。第二,样地间在植被、土壤、水文等方面的差异。第三,测定方法和条件等方面的差异。邓邦权和吕禄成^[14]是用CFI方法在30°C的温度条件下测定土壤微生物量的,所用的 K_c 为0.41,而本文是用SIR方法在22°C条件下测定,所用的计算土壤微生物量的公式原形,是Anderson和Domsch^[7]所做的基质诱导呼吸(SIR)与用CFI方法(22°C, $K_c=0.41$)测得的土壤微生物量的直线回归方程。CFI方法培养温度的升高,会加速被熏蒸杀死的土壤微生物个体的降解,所以,邓邦权和吕禄成^[14]的测定值会比本文的测定值相对偏高。

以黑石顶和鼎湖山代表的亚热带常绿阔叶林A层土壤微生物量低于海南岛坝王岭(109°05'~25'W, 18°50'~19°05'N)热带低山雨林A层土壤微生物量(512.47~709.38和678.33~1178.10 $\mu\text{g C}_{\text{mic}}/\text{g}$ 干土重)^[1]。这样的地区性区别除了与气候、植被类型、群落结构等因素的差异有关以外,还与土壤系统的碳源输入量的区别有关。海南岛坝王岭热带低山雨林的凋落物年产量为13.61和12.09t/ha,高于鼎湖山亚热带常绿阔叶林的凋落物年产量(7.1, 9.211, 0t/ha^[15,16])和以凋落物为主的碳源输入量大,使土壤微生物可以维持在较高的生物量水平,也就是说在土壤系统存在更大型的、足以维持地上部分生长需要的营养库。但是,在坝王岭当海拔高度升高到约1390m,随着植被类型的改变,凋落物的年产量也减少到6.67t/ha,土壤微生物量为421.59~558.92 $\mu\text{g C}_{\text{mic}}/\text{g}$ 干土重。该处的土壤微生物量与黑石顶和鼎湖山的土壤微生物量水平相当。所以,土壤微生物量的地区性差异还与海拔高度有关。

坝王岭热带森林生态系统与黑石顶亚热带森林生态系统之间,除了在土壤微生物量具有差异以外,后者的土壤有机质碳、全氮、全磷、全钾、有效磷和有效钾含量都不同程度地低于前者。虽然这样,但是土壤微生物的代谢系数($q\text{CO}_2$)则前后相仿, $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ 值则后者高于前者。坝王岭3个样地A层土的代谢系数($q\text{CO}_2$)全年平均分别为1.78, 1.34和2.00, $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ 值的全年平均分别为10.96, 12.36和12.11^[1]。这表明:虽然黑石顶的森林土壤因为以凋落物为主的能量输入少而比坝王岭热带低山雨林含较少的养分,但是,在这样的系统中,土壤微生物维持在一个低耗能的状态,保持低的呼吸率,并且把更高比例的养分贮存在土壤微生物体内,从而得到对碳源输入少的补偿,也就是说其系统的物质循环效率更高。

气候对 $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ 值有直接的影响。 $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ 值与年降水量(mm)/年蒸发量(mm)

- 1) 杨家诚. 华南热带亚热带森林生态系统中的土壤微生物环境因子的相互关系, 1990, 中山大学博士生毕业论文: 1~124(存中山大学生物学系植物研究室)

明显呈负相关^[17]。黑石顶的年降水量(mm)/年蒸发量(mm)低于坝王岭,而且气候较寒冷、土壤的能量输入较少等等,在这样的环境中土壤微生物逐步形成了把大量养分保存在自己体内的机制。本文的工作支持了Insam等人的结论^[17]。

A层的土壤微生物量和土壤有机质碳都比其他养分更明显地高于AB层土壤。这种分层现象表明:森林的凋落物为土壤微生物提供了大量的可利用物质,因为地表积聚大量的凋落物而土表层更有利于土壤微生物的生存和生长。随着深度增加,土壤微生物只能靠上层降解产物的浸透和根系凋落物为生,所以土壤微生物量即骤减少。但是,在AB层仍保持一个较高的 C_{mic}/C_{org} 值。这也表明土壤微生物对养分来源变化的适应。在坝王岭热带森林生态系统亦存在相似的现象¹⁾。

黑石顶的土壤微生物量与土壤有机质碳的直线回归斜率(163.61)(图3)远大于坝王岭的斜率(55.7)¹⁾,这表明:前者的土壤微生物比后者的更需要得到碳源,这与系统的碳源输入量少有关。黑石顶的土壤微生物量与全氮直线回归的斜率(1284.50)(图4)与坝王岭的(1179.6)¹⁾水平相当,这表明:这两个系统的土壤微生物都极需得到氮源的补充。

酸性土一般更适合真菌的生长,但是,选择抑制方法^[12]测得的结果是:在黑石顶的土壤微生物量中细菌占2/3以上。用相同方法和条件测定坝王岭森林土壤亦发现类似的情况¹⁾。所测到的真菌含量可能会偏低的原因有3个:第一,在热带、亚热带森林土壤微生物中占一定比例的菌根菌,并不为选择抑制方法所测定;第二,在热带、亚热带森林土壤中丰富的子囊菌、担子菌菌丝体在样品处理过程中遭损伤而影响活性。第三,热带、亚热带地区的土壤真菌区系有别于温带地区的区系^[12],可能表现在前者对诱导基质和抑制剂反应迟钝。

土壤微生物量的增加是与可以获得的能分解利用的有机质增多相关联的。在干季,凋落物产量增加,但由于伴随的是降水量减少、低温等因素,使到凋落物分解速度并没有随之增加。所以,黑石顶11月份的土壤微生物量最小,随着雨季的开始,在合适的水热条件下,凋落物分解加快,土壤微生物量便增高。对于AB层土壤,虽然土壤微生物量的最低值比A层延迟到1月,但同样具有相似的趋势。在土壤基础呼吸和 C_{mic}/C_{org} 值的年变化亦可以看出相似的变化,而土壤有机质碳含量能在11月达到最高值也是由于相同的原因。

通常A层真菌占土壤微生物量的比例都比AB层的高,这反映了,分解凋落物的粗物质作为真菌的主要职能主要发生在森林表土层。经过在干季表土层真菌凋落物初步分解以后,使到雨季到来时更有利于细菌对初步降解产物的进一步分解,从而表现出随后细菌占土壤微生物量的比例增加。在AB层土,只有在雨季大分子物质才能随着水分的浸透而深入,此时真菌才增加占土壤微生物量的比例。坝王岭热带森林亦有相似的情况¹⁾。

4 结 论

(1) 南亚热带常绿阔叶林的土壤微生物量小于热带低山雨林的土壤微生物量,与热带中山的土壤微生物量水平相当。这一差异除了与植被等因素的区别有关以外,还与

凋落物年产量的区别有关,碳源输入量小的土壤微生物量小。另外,土壤微生物量与气候的差异有关,土壤微生物量与年降水量(mm)/年蒸发量(mm)呈负相关。

(2)对于南亚热带常绿阔叶林,同样可以用土壤微生物的代谢系数(qCO_2)和 C_{mic}/C_{org} 值来衡量该生态系统的功能。

(3)南亚热带常绿阔叶林的土壤微生物量在土壤中成层分布,随深度增加而减少。

(4)用选择抑制方法测定黑石顶南亚热带常绿阔叶林的土壤,显示细菌占微生物量的2/3以上。

(5)黑石顶南亚热带常绿阔叶林的土壤微生物量以及真菌、细菌在其中占的相对比例都呈季节性变化,这些变化与气候及凋落物分解等因素有关。

本研究得到黑石顶热带亚热带森林生态系统研究中心叶伟男先生以及中山大学地理学系廖金凤老师的大力协助,特此感谢。

参 考 文 献

- 1 Hilton G. *Forest Ecology and Management*, 1987, 22: 297~300
- 2 Jordan C F. *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystem*, Wiley, New York, 1985
- 3 Singh J S, A S Raghubanshi, R S Singh *et al.* *Nature*, 1989, 338: 499~500
- 4 Marumoto T, J P E Anderson, K H Domsch. *Biochemistry*, 1982, 14: 469~475
- 5 Paul E A, N G Juma. *Terrestrial Nitrogen Cycles: Processes, Ecosystem Strategies, and Management Impacts*. *Ecol Bull (Stockholm)* 33, F E Clark, T Rosswall (eds), 1981
- 6 Jenkinson D S, Powlson D S. *Soil Biology & Biochemistry*, 1976, 8: 209~213
- 7 Anderson J P E, Domsch K H. *Soil Biology & Biochemistry*, 1978, 10: 215~221
- 8 Heinemeyer O, Insam H, Kaiser E V *et al.* *Plant and Soil*, 1989, 116: 191~195
- 9 王伯荪, 刘雄恩. *生态科学*, 1987(1、2(合刊)): 1~18
- 10 施苏华. *生态科学*, 1987(1、2(合刊)): 44~66
- 11 陈章和, 张宏达, 王伯荪. *生态科学*, 1990(2): 14~22
- 12 Anderson J P E, Domsch K H. *Archiv fuer Mikrobiologie*, 1973, 93: 113~127
- 13 Insam H, Haselwandter K. *Oecologia*, 1989, 79: 174~178
- 14 邓邦权, 吕禄成. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1986(4): 53~64
- 15 屠梦照. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1984(2): 18~23
- 16 屠梦照. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1989(5): 7~10
- 17 Insam H, Parkinson D, Domsch K H. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989 21: 211~221

Soil Microbial Biomass Study of Heishiding Lower Subtropical Evergreen Broadleaf Forest, Guangdong

Yang Jiacheng* Chang Hungta Wang Bosun

Abstract Soil microbial biomass (C_{mic}) and relative contributions of bacteria and fungi in C_{mic} of Heishiding lower subtropical evergreen broadleaf forest (Guangdong, P. R. China) were studied. C_{mic} was determined with the substrate induced respiration (SIR) method, bacterial and fungal fractions were determined with the selective inhibition technique. For the A horizon, we found 316.19~531.43 $\mu\text{g } C_{mic}/\text{g soil d. m.}$, C_{mic} of AB horizon was 152.30~224.37 $\mu\text{g } C_{mic}/\text{g soil d. m.}$. Approximately 2/3 of the biomass was bacterial. In the A horizon, metabolic quotient (qCO_2) was 1.04~2.66, qCO_2 of the AB horizon was from 0.89. to 1.98. C_{mic}/C_{org} of A horizon was 11.28~18.64, C_{mic}/C_{org} of AB horizon ranged between 8.48 and 19.34.

Keywords subtropical, soil microbial biomass, fungi, bacteria

* Department of Biology