

鼎湖山不同植被类型下土壤 微生物养分的矿化*

傅声雷 蚁伟民 丁明懋

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要 本研究测定了鼎湖山5种主要植被类型下土壤微生物养分的矿化值, 结果表明:

同一植被类型下, 土壤微生物3种养分元素(氮、磷、钾)的矿化值大小不一, 其顺序是: 矿化氮(铵态氮+硝态氮) > 矿化钾 > 矿化磷。

同一种养分元素, 不同植被类型下的矿化也有较大差异。5种植被类型下土壤微生物氮、磷、钾的矿化值范围分别为: 20.24—33.36、2.01—3.86和8.88—18.35mg/kg(干土)。

土壤微生物氮的矿化与土壤微生物生物量呈显著正相关, 磷、钾的矿化与土壤微生物生物量无相关关系。

不同植被类型下土壤微生物库养分贮量各不相同。碳、氮、磷和钾的贮量范围分别为: 702.94—1150.58、93.72—155.53、10.95—20.27和34.03—70.35kg/ha, 其平均贮量为: 924.15±195.73、117.27±25.52、15.08±3.95和50.14±13.29kg/ha; 分别占土壤库中有有机碳、全氮、全磷和全钾的3.00±1.13、5.34±1.57、1.71±0.57和0.26±0.22%。

5种植被类型中, 季风常绿阔叶林的土壤微生物养分固定及其供应能力最强。

关键词 鼎湖山; 土壤微生物; 养分矿化

有关研究表明, 土壤经过烘干、研磨、熏蒸等处理后, 死亡的土壤微生物矿化并释放出养分(Powelson D. S. *et al.*, 1976; Shen S. M. *et al.*, 1984)。自然条件下, 土壤微生物的生长、死亡和矿化与植物生长之间的关系甚为密切(Singh J. S. *et al.*, 1989)。土壤微生物不仅参与有机物质的分解和合成, 而且本身还吸收、固定和释放养分。因此, 近年来把土壤微生物作为一个营养库进行研究。土壤微生物及其养分动态是生态系统营养循环的重要组成部分之一。

鼎湖山几种主要植被类型(以下简称植被)下土壤微生物的数量组成及生物量已有报道(邓邦权等, 1990; 蚁伟民等, 1984), 但这些植被下土壤微生物养分的矿化等尚未见有研究报告。本研究的目的在于了解土壤微生物养分的矿化和养分库贮量及其在森林生态系统中的作用和意义, 为深入研究鼎湖山森林生态系统的营养循环提供新的资料和科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地

本文于1993年4月收到, 1993年8月收到修改稿。

* 鼎湖山树木园的黄忠良、黄玉佳和梁荣光以及华南植物研究所的王作明、张文其等协助完成部分室内、外工作, 特此致谢。

鼎湖山自然保护区位于北纬 23°08′、东经 112°35′，在广东省的中部，属丘陵区。山体海拔高度一般为 400—600m，最高峰鸡笼山为 1000.3m。鼎湖山地处热带与亚热带的过渡区，属季风南亚带湿润气候型。年平均气温 21℃，年平均雨量及相对湿度分别为 1900mm 和 80% (李明佳等, 1984)。自然土类主要有赤红壤、黄壤和山地灌丛草甸土。自然植被有季风常绿阔叶林、沟谷雨林、常绿阔叶林、针阔叶混交林、针叶林、河岸林、稀树灌丛和灌木草丛等类型 (王铸豪等, 1982)。本研究选择了其中 5 个主要类型 (见表 1)，并对其植被下土壤微生物养分的矿化等进行了研究。

表 1 试验地概况¹⁾

Table 1 The description of experimental plots

样地编号 Number of plots	植被类型 Vegetation type	海拔 高度 Ele. (m)	土壤特性 Soil properties						
			土壤类型 Soil type	pH	C/N	有机碳 Organic C (%)	全 氮 Total N (%)	全 磷 Total P (%)	全 钾 Total K (%)
I	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaf forest	640	黄 壤 Yellow earth	4.5	15	1.31	0.09	0.05	1.10
II	灌木草丛 Shrubby grassland	860	草甸土 Shrubby meadow soil	5.9	12	1.11	0.09	0.05	0.49
III	季风常绿阔 叶林 Monsoon evergreen broad-leaf forest	220	赤 红 壤 Lateritic red earth	4.1	12	2.48	0.20	0.08	3.70
IV	针 叶 林 Pine forest	170	赤 红 壤 Lateritic red earth	4.4	17	2.34	0.14	0.04	2.50
V	针、阔叶 混 交 林 Mixed forest	200	赤 红 壤 Lateritic red earth	4.3	16	2.59	0.16	0.05	/

1) 王铸豪等, 1982; 何金海等, 1982。

1.2 土壤样品的采集

在每个试验地内随机采样 7 个点并分别测定其土壤微生物生物量，其中随机取 3 个点进行土壤微生物养分矿化的分析。采土深度为 0—15cm，土壤装在扎棉塞的塑料袋内带回实验室。经 2mm 筛过筛处理后，放在 4℃ 冰箱内保存备用。1992 年 1、4、7、11 月份分别采样和测定。

1.3 分析测定

1.3.1 土壤微生物生物量(碳)的测定

土壤微生物生物量(碳)的测定采用 Jenkinson (1976) 报道的方法——氯仿熏蒸法。

1.3.2 土壤微生物养分(氮、磷、钾)矿化的测定

1.3.2.1 样品处理

熏蒸土: 称取新鲜土 200g, 用脱乙醇的氯仿熏蒸 24h, 抽净氯仿后, 用 1% 原土壤接种, 加水至土壤最大持水量的 55%。在 25℃ 温度下培养 28 天, 然后提取并测定其养分。

对照土: 土壤样品不经氯仿处理, 其他过程同上。

上述处理每一样品设 3 个重复。

1.3.2.2 测定方法(中国土壤学会农业化学专业委员会, 1983)

铵态氮用靛酚蓝比色法, 用 2N KCl 溶液提取。硝态氮用酚二磺酸法, 用 0.2% $\left(\frac{W}{V}\right)$ 的 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 水溶液提取。有效磷用钼锑抗比色法, 用 0.03N NH_4F -0.025N HCl 溶液提取。速效钾用 1.0N NH_4OAc 溶液浸提后再用原子吸收光谱分析。

熏蒸土与对照土中提取出的无机养分之差, 即为土壤微生物矿化的养分。计算公式如下:

$$\text{矿化养分} = \text{熏蒸土中的无机养分} - \text{对照土中的无机养分}$$

1.3.2.3 土壤固定磷的强度的测定

根据 Brookes(1982)的报道, 土壤固定磷的强度可以用磷的恢复率(Recovery%)来表示, 即把一定量的无机磷加入土壤中, 这些磷的一部分被土壤固定, 另一部分(非固定磷)则被测出, 然后计得恢复率。具体方法是:

分别从未经氯仿处理的土壤(A)以及同样未经氯仿处理但外加相当于 25 $\mu\text{g/g}$ 干土无机磷的 KH_2PO_4 溶液的土壤(C)中提取并测定其有效磷的量($\mu\text{g/g}$ 干土), 方法同前述有效磷的测定。然后, 按以下公式求出土壤固定磷的强度, 即: $\text{恢复率}(\%) = \frac{C - A}{25} \times 100$

1.3.2.4 土壤微生物生物量养分(氮、磷、钾)的计算

由于微生物体内的磷矿化后很容易被土壤吸附或固定, 在测定土壤微生物生物量磷时, 必须用土壤固定磷的强度(恢复率)校正。为此, 计算土壤微生物生物量氮、磷、钾时分别采用下列公式:

$$\text{生物量氮或钾} = \frac{\text{矿化氮或矿化钾}}{\text{氮或钾的矿化率}}$$

$$\text{生物量磷} = \frac{\text{矿化磷}}{\text{磷的矿化率} \times \text{磷的恢复率}}$$

以上公式中, 氮的矿化率为 0.37, 引自 Marumoto 等(1982)的报道; 磷的矿化率为 0.40, 引自 Brookes 等(1982)的报道; 钾的矿化率应略大于氮或磷(郭继勋等, 1988), 本文采用 0.45。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物生物量

土壤经氯仿熏蒸处理后, 土壤微生物被杀死, 然后用原土壤接种并培养, 死亡的微生物体则被新增殖的微生物分解而部分矿化, 此时, 土壤微生物的呼吸作用因产生“分解的突发”(Flush of decomposition)而激剧加强。根据 Jenkinson 等(1976)的报道分别测定熏蒸土和对照土(非熏蒸土)中的 CO_2 释放量, 再用碳的矿化率($K_c = 0.411$) (Anderson 等,

1978)校正其差值,便得到土壤微生物生物量。本文所选的5种植被类型中,季风常绿阔叶林土壤微生物生物量最高,平均为 $667.0 \pm 83.0 \text{mg/kg}$ 干土,针叶林次之为 $630.7 \pm 137.0 \text{mg/kg}$ 干土,混交林、山地常绿阔叶林和山地灌丛草甸的土壤微生物生物量分别为 $442.0 \pm 121.0, 407.5 \pm 110.0, 531.5 \pm 104.0 \text{mg/kg}$ 干土。

有关土壤微生物生物量的详细研究情况将另文报道。

2.2 土壤微生物养分的矿化

在本实验中,所有植被下的土壤经氯仿熏蒸后,由于微生物的矿化作用,氮、磷、钾3种养分的浓度均明显增加,但增加的幅度大小不一,其顺序是:矿化氮(铵态氮+硝态氮) > 矿化钾 > 矿化磷,详见图1。这与土壤微生物中氮、磷、钾3种元素的含量以及3种元素的矿化率各不相同有关(Anderson J. P. E., *et al.*, 1980)。

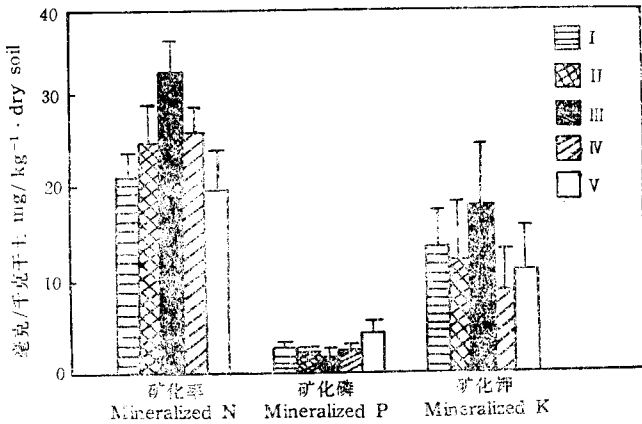


图1 不同植被下土壤微生物养分的矿化

Fig. 1 Amount of mineralized nutrients from soil microbes of different vegetations
I, II, III, IV, V: 样地编号说明同表1 Numbers of the plots are the same as that
of Table 1

比较、分析图1还可看出:同一植被下土壤微生物不同养分的矿化差异较大。在季风常绿阔叶林下的矿化氮高于其他植被,为 $33.36 \pm 7.73 \text{mg/kg}$ 干土,而矿化磷却是各类植被中最低的,为 $2.01 \pm 0.43 \text{mg/kg}$ 干土。另一方面,同一种养分元素,在不同植被下的矿化也各不相同。如氮的矿化在季风常绿阔叶林植被下最多为 $33.36 \pm 7.73 \text{mg/kg}$ 干土,而在混交林植被下却最少,为 $20.24 \pm 4.08 \text{mg/kg}$ 干土。上述差异的出现,受多方面因素影响。不同植被下土壤微生物生物量以及土壤微生物种类组成不同是其主要原因之一。在季风常绿阔叶林下土壤微生物生物量高于其他植被,同时土壤微生物中含氮量高的细菌所占比例最大(蚁伟民等, 1984),因此其矿化氮高于其他植被类型。

2.3 土壤微生物养分的矿化与土壤微生物生物量的关系

回归分析表明,土壤微生物氮的矿化(y)与土壤微生物生物量(x)呈显著正相关。其回归方程为: $y = 0.3761x + 4.8455, r = 0.5519^{***} (n = 60)$,如图2所示。这与 Marumoto 等(1982)以及 Singh 等(1991)的报道结果相符。

另外, Singh (1991) 还报道了土壤微生物生物量磷与土壤微生物生物量显著相关

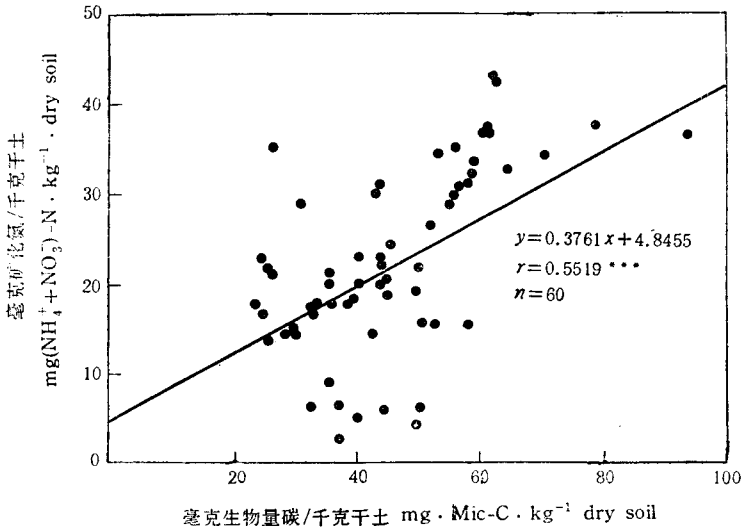


图2 土壤微生物矿化氮与生物量碳的关系

Fig. 2 Relationship between mineralized N(y) and biomass-C(x) of soil microbes.

(Shen S. M. *et al.*, 1984); Marumoto 等 (1982) 的报道中也指出土壤微生物有效磷与土壤微生物生物量有一定关系, 而钾的矿化与土壤微生物生物量无相关关系。但在本研究中, 没有观察到土壤微生物磷、钾的矿化与土壤微生物生物量的相关结果。可能是因为磷、钾化合物的多种形态及其不稳定性的影响所致, 具体原因有待进一步研究。

2.4 土壤微生物生物量养分

在自然界中, 土壤微生物生长、繁殖和死亡、矿化的过程是不断地进行的。土壤微生物

表2 土壤微生物生物量养分

Table 2 Nutrients of soil microbial biomass

样地编号 Number of plots	土壤微生物生物量养分(毫克/千克干土) Nutrients of soil microbial biomass (mg·kg ⁻¹ Dry soil)				C/N	磷的恢复率 Recovery of Pi. (%)
	C	N	P	K		
I	407.5	54.33	9.99	30.71	7.5	74.34
II	531.5	68.14	9.01	28.13	7.8	67.14
III	667.0	90.16	6.60	40.78	7.4	76.13
IV	630.7	72.57	6.35	19.73	8.7	79.93
V	442.0	54.70	11.75	26.00	8.1	82.13
平均 Average	535.75 ± 113.47	68.99 ± 13.76	8.74 ± 2.29	29.07 ± 7.70	7.9 ± 0.5	75.93 ± 5.79

I II III IV V: 样地编号说明同表1 Number of plots are the same as that of Table 1. 土壤微生物 C、N 和 P 的矿化率为 0.411、0.37 和 0.40, 分别引自 Anderson (1978)、Marumoto (1982) 和 Brookes (1982), K 的矿化率应略大于 N 或 P (郭继勋等, 1988), 假定为 0.45. Mineralization rate of C, N and P were 0.411, 0.37 and 0.40 which were quoted from Anderson (1978), Marumoto (1982) and Brookes (1982), mineralization rate of K was presumed to be 0.45, it was larger than that of N or P.

生长、繁殖的同时固定并贮存了养分；而当土壤微生物死亡、矿化之后，其养分便不断地释放到土壤中。Singh 等(1989)报道，土壤微生物生物量养分与植物生长密切相关。因此，土壤微生物生物量养分的固定和释放能力，在某种程度上反映了土壤微生物在森林生态系统营养循环中的作用。

根据土壤熏蒸后土壤微生物的矿化养分(图 1)及其矿化率等，可计算出土壤微生物生物量养分，结果见表 2。

从表 2 可以看出：季风常绿阔叶林的土壤微生物生物量养分是 5 个植被类型中最高的(磷除外)，也即季风常绿阔叶林土壤微生物固定、贮存养分的能力最强。

其次，土壤微生物生物量养分的 C/N 比值可以说明土壤微生物生物量氮的可利用能力。C/N 比值大，土壤微生物中可利用态氮少；C/N 比值小，土壤微生物中可利用态氮则多(Patra D. D. *et al.*, 1992)。表 2 中 5 种植被类型下土壤微生物生物量养分的 C/N 比值为 7.4—8.7，与 Marumoto 等(1991)的报道结果相似。其中，季风常绿阔叶林植被下土壤微生物的 C/N 比值最小(7.4)，可见其土壤微生物中可利用态氮最多。

从以上分析可知，季风常绿阔叶林土壤微生物生物量养分的固定以及氮的释放、供应能力最强，其土壤微生物在森林生态系统中的营养功能优于其他植被类型。

表 3 土壤微生物库养分贮量及其对土壤库的养分贡献

Table 3 Nutrient storage in soil microbial pool and its contribution to soil pool

样地编号 Number of plots	土壤微生物库养分贮量 Nutrient storage in soil microbial pool (kg/ha)				土壤库养分贮量 Nutrient storage in soil pool (kg/ha)			
	C	N	P	K	C	N	P	K
I	702.94 (3.11)	93.72 (6.04)	17.23 (2.00)	52.97 (0.28)	22597.5	1552.5	862.5	18975.0
II	916.84 (4.79)	117.54 (7.57)	15.54 (1.80)	48.52 (0.57)	19147.5	1552.5	862.5	8452.5
III	1150.58 (2.69)	155.53 (4.51)	11.39 (0.83)	70.35 (0.11)	42780.0	3450.0	1380.0	63825.0
IV	1087.96 (2.70)	125.18 (5.18)	10.95 (1.59)	34.03 (0.08)	40365.0	2415.0	690.0	43125.0
V	762.45 (1.71)	94.36 (3.42)	20.27 (2.35)	44.85 (/)	44677.5	2760.0	862.5	/
平均 Average	924.15 ± 195.73 (3.00 ± 1.13)	117.27 ± 25.52 (5.34 ± 1.57)	15.08 ± 3.95 (1.71 ± 0.57)	50.14 ± 13.29 (0.26 ± 0.22)	33913.5 ± 12064.3	2346.0 ± 814.6	931.5 ± 261.6	33594.4 ± 24836.6

1. I. II. III. IV. V: 样地编号说明同表 1 Number of plots was the same as that of Table 1.

2. 括号中数字为土壤微生物库养分与土壤库养分的百分比值 Data in paratheses were the percentage of nutrients in soil microbial pool to nutrients in soil pool.

3. 每公顷 0—15cm 土层干重约为 1725t (邓邦权等, 1990) Assume the dry soil weight of 0—15cm layer in one hactare to be 1725 (邓邦权等, 1990).

4. 土壤微生物库养分贮量 (kg/ha) = 土壤微生物生物量养分 (mg/kg 干土) × 土壤干重 (t/ha) × 10⁻³ Nutrient storage in microbial pool (kg, ha⁻¹) = Nutrient of soil microbial biomass (mg, kg⁻¹ dry soil) × Dry soil weight (t, ha⁻¹) × 10⁻³.

5. 土壤库养分贮量 (kg/ha) = 土壤库养分含量 (%) × 土壤干重 (t/ha) × 10³ Nutrient storage in soil pool (kg, ha⁻¹) = Nutrient concentration in soil (%) × Dry soil weight (t, ha⁻¹) × 10³.

通过土壤微生物生物量养分可以推算出 1 公顷林地中土壤微生物库的养分贮量, 而通过土壤库中有机碳、全氮、全磷和全钾的含量(见表 1)则可算出 1 公顷林地中土壤库相应养分的贮量; 然后, 便可求出土壤微生物库养分贮量占土壤库养分贮量的百分比值。上述结果列于表 3。

从表 3 可以看出土壤微生物库中的碳、氮、磷和钾分别占土壤库中有机碳、全氮、全磷和全钾的 3.00 ± 1.13 , 5.34 ± 1.57 , 1.71 ± 0.57 和 $0.26 \pm 0.22\%$ 。

分析不同植被下土壤微生物库养分贮量占土壤库养分贮量的百分比值, 可以得出:

1. 土壤微生物库氮的贮量占土壤库氮贮量的百分比值高于其他养分之比, 这说明土壤微生物库养分对土壤库养分的贡献突出表现在氮的贮存和供应能力方面。这对森林生态系统氮素平衡以及维持生态系统的稳定和发展是很有意义的。

2. 在海拔较高的山地灌丛草甸, 其土壤微生物库各养分占土壤库相应养分的百分比值均高于其他植被类型。这可能是因为山地灌丛草甸土肥力较低, 因此其土壤微生物养分对土壤库的贡献显得相对较高。至于是否可以依此认为在贫瘠土壤中, 土壤微生物库的营养贡献比之在肥沃土壤中对植物营养的贡献更大呢? 这是值得进一步探讨的问题。

3 小结和讨论

1. 季风常绿阔叶林植被下土壤微生物库养分贮量最大, 氮素等养分的释放、供应能力最强。因此, 其土壤微生物的营养功能优于其他四种植被类型。

2. 本文中土壤微生物库的养分贮量及其占土壤库养分贮量的百分比值等均是一种现存量的测定和比较。至于不同植被下土壤微生物养分归还量及其对土壤养分库的贡献, 还与土壤微生物自身的转化周期以及土壤有机质的矿化等有关。这些问题尚待进行深入的研究并报道。

参 考 文 献

- 中国土壤学会农业化学专业委员会, 1983: 土壤农业化学常规分析方法, 科学出版社。
- 王铸豪、何道泉等, 1982: 鼎湖山自然保护区的植被, 热带亚热带森林生态系统研究, (1)77—142。
- 邓邦权、吕禄成等, 1990: 鼎湖山自然保护区不同林被下土壤微生物的生物量与生物营养物质的库贮量, 热带亚热带森林生态系统研究, (7)113—118。
- 李明佳、王铸豪等, 1984: 鼎湖山常见植物的物候, 热带亚热带森林生态系统研究, (2)1—10。
- 何金海、陈兆其等, 1982: 鼎湖山自然保护区之土壤, 热带亚热带森林生态系统研究, (1)25—37。
- 许光辉、郑洪元等, 1986: 土壤微生物分析方法手册, 农业出版社。
- 郭继勋、祝廷成等, 1988: 羊草草甸枯枝落叶的分解、积累与营养物质含量动态, 植物生态学与地植物学报, 12(3)197—203。
- 蚁伟民、丁明慧等, 1984: 鼎湖山自然保护区及电白人工林土壤微生物特性的研究, 热带亚热带森林生态系统研究, (2)59—69。
- Anderson J.P.E. and Domsch K. H. (1980) Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils, *Soil Sci.* 130(4), 211—216.
- Anderson J. P. E. and Domsch K. H. (1978) mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soils, *Soil Biol. Biochem.* 10, 207—213.
- Brookes P. C. *et al* (1982) Measurement of microbial biomass P in soil, *Soil Biol. Biochem.* 14, 319—329.
- Jenkinson D. S. and Powlson D. S. (1976) The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method for measuring soil microbial biomass, *Soil Biol. Biochem.* 8, 209—213.
- Marumoto T. *et al* (1982) Mineralization of nutrients from soil microbial biomass, *Soil*

- Biol. Biochem. 14, 469—475.
- Marumoto T. *et al* (1991) Estimation of microbial biomass carbon and nitrogen in Bangladesh soils, *Soil Sci. Plant Nutr.* 37(4), 591—599.
- Powelson D. S. and Jenkinson D.S. (1976) The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. I. Gamma irradiation, autoclaving, air-drying and fumigation, *Soil Biol. Biochem.* 8, 179—188.
- Patra D. D. *et al* (1992) Effect of plant residues on the size of microbial biomass and nitrogen mineralization in soil incorporation of Cowpea and Wheat straw, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38(1), 1—6.
- Shen S. M. *et al* (1984) Mineralization and immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen, *Soil Biol. Biochem.* 16(5), 437—444.
- Singh R. S. *et al* (1991) Microbial C, N and P in dry tropical Savanna: effect of burning and grazing, *Jour. of Appl. Ecol.* 28, 869—878.
- Singh J.S. *et al* (1989) Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and Savanna, *Nature*. 338, 499—500.

MINERALIZATION OF SOIL MICROBIAL C, N, P AND K IN DIFFERENT VEGETATIONS TYPES AT DINGHUSHAN BIOSPHERE RESERVE

Fu Sheng-lei Yi Wei-min Ding Ming-mao

(*South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650*)

Abstract

The mineralization of soil microbial N, P and K varied with vegetation types, ranging from 20.24—33.36, 2.01—3.86 and 8.88—18.35 mg/kg dry soil, respectively.

The amount of nitrogen mineralized from soil microbes was closely related to the biomass-C. The regression equation was $y = 0.3761x + 48455$, $r = 0.5519^{***}$ ($n = 60$).

The total C, N, P and K in soil microbial pool were 702.94—1150.58, 93.72—155.53, 10.95—20.27 and 34.03—70.35 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the average values were 924.15 ± 195.73 , 117.27 ± 25.52 , 15.08 ± 3.95 and 50.14 ± 13.29 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, accounting for 3.00 ± 1.13 , 5.34 ± 1.57 , 1.71 ± 0.57 and $0.26 \pm 0.22\%$ of the total soil C, N, P and K.

The status of soil microbial pool nutrient in monsoon evergreen broadleaf forest was better compared with other vegetation types.

Key words Dinghushan biosphere reserve, Soil microbes, Nutrient mineralization