

## 鼎湖山自然保护区不同林被土壤微生物的消 长更新周期与生物营养物质的归还量\*

邓邦权 吕禄成

(广东省土壤研究所, 广州 510650)

### 摘 要

根据不同林被土壤原位呼吸法定位观测结果, 计算出其中微生物的呼吸强度, 分析了它们的基质转化与组织合成速率; 结合其相应的微生物生物量水平, 计算出阔叶林、针叶林和非林垦耕地土壤中微生物机体的更新周期分别为 63、50 和 36 天。据此按其各自的生物营养物质贮量, 计得土壤各种营养元素的年归还量分别为: C 1.8—2.2; N 0.78—0.94; P 0.6—0.7; K 0.5—0.6 和 Ca 0.07—0.09 ( $t \cdot ha^{-1} a^{-1}$ )。

**关键词:** 森林土壤微生物; 微生物生物量; 物质循环

土壤微生物的活性及其对环境物质作用的功能, 往往反映在土壤原位呼吸强度上。不少工作者已从多方面对土壤呼吸与土壤基质转化及微生物机体代谢、组织合成的关系作过研究<sup>[1]</sup>。我们对本区不同林被土壤呼吸强度与土壤 C 素能量的转移和平衡也已作过定量分析<sup>[2]</sup>, 并对它们的微生物生物量水平及微生物库中营养物质的库贮量作出了定量估计<sup>[3]</sup>。本文根据不同土壤微生物原位呼吸强度, 结合有关学者研究结果, 对鼎湖山不同林被土壤微生物转化基质、合成机体的速率、组织的半衰期和更新周期作出估计, 基于这种估计, 进一步计算了每年微生物衰亡分解归还土壤的营养物质的数量。

### 一、方 法

· 在不同林被土壤的代表样方中, 按季度对其土壤原位呼吸强度作出检测, 每次检测重复 10 次以上, 经统计分析, 弃去异常值后, 再取其平均数。以年中四个季度的平均值代表该土壤的呼吸水平。相应的土壤微生物生物量水平, 取连续多年逐季定位观测所得

1990年4月收稿。

\* (1) 本工作是国家自然科学基金资助课题的一部分。

(2) 参加这一研究的尚有李大文、王德琼、杨风、葛荣盛、杜绍元同志。

结果的总平均。具体的检定方法见前文<sup>[3-5]</sup>。其他有关计算方法和依据，文中将有详细说明。

## 二、结果与讨论

### (一) 不同林被土壤微生物的呼吸强度

表1是不同林被土壤原位呼吸强度定期定位检测的结果。其中微生物呼吸强度，是根据微生物呼吸通常占土壤总呼吸的百分率(50—70%，平均近60%)，由总呼吸强度计算得到的。表1表明，1年中以温暖湿润的春夏间强度最大，而高温干燥的秋季最低，

表1 不同林地土壤(A)及其微生物(B)的呼吸强度

Table 1 Respiratory intensity of soil (A) and of soil microbes (B) under different forests (Unit:  $\text{CO}_2 \cdot \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )

季 度 season	阔叶林土壤 broad-leaf forest soil		针叶林土壤 coniferous forest soil		非林垦耕地土壤 non-forest reclaimed land soil	
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
春 spring	9.50	5.70	7.32	4.39	7.06	4.24
夏 summer	6.24	3.74	7.01	4.21	6.53	3.92
秋 autumn	5.26	3.16	4.20	2.52	3.79	2.27
冬 winter	5.57	3.34	4.30	2.58	4.61	2.77
平均* AV.	6.64±1.95	3.99±1.17	5.71±1.69	3.43±1.01	5.50±1.55	3.30±0.93

\* 平均值以平均数 ± 标准差表示。

Average value in a year is expressed in mean ± standard error.

几种土壤的呼吸强度( $\text{CO}_2 \cdot \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )，阔叶林地最高(3.3—5.7)，针叶林地次之(2.5—4.4)，最低是非林垦耕地(2.3—4.2)。年均值分别为 $3.99 \pm 1.17$ ， $3.43 \pm 1.01$ 和 $3.30 \pm 0.93$ 。这种变化和差异，与土壤微生物生物量的检测结果<sup>[3]</sup>相应一致，都是随林冠植被的密度、凋落残谢物补给量的增大而增大，反映了呼吸强度与微生物生物量之间的密切关系。

### (二) 土壤微生物呼吸强度与细胞组织产率

微生物呼吸过程释出的 $\text{CO}_2$ ，是与之摩尔相当的 $\text{O}_2$ 被吸收用于生物氧化的结果。有关研究表明，在生物氧化过程中1 mol  $\text{O}_2$ 会产生6 mol的ATP(三磷酸腺苷)，而1 mol ATP的形成，相当于10 g的微生物细胞组织合成<sup>[1]</sup>。

我们仿照瓦格纳<sup>[1]</sup>按释出 $\text{CO}_2 0.3 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 相当于吸收 $\text{O}_2 0.8 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 的比例，计算出不同土壤的吸 $\text{O}_2$ 量，并换用每天每公斤土壤吸 $\text{O}_2$ 的摩尔数( $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )来表示。再按它与ATP生成和细胞组织产率的关系作出有关计算，结果列于表2。从表2可以看出，不同土壤单位重量、单位时间内微生物细胞组织的产出量也随其生物量的增大和呼吸强度的增高而提高，阔叶林、针叶林和非林垦耕地依次为0.0199，0.0171和 $0.0165 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

表 2 不同林地土壤微生物的呼吸强度和相应的组织产率

Table 2 Microbial respiratory intensity and corresponding organic tissue yield rate in different forest soils

土 壤 soil	微生物呼吸强度 microbial respiratory intensity		ATP 生成率 yield rate of ATP (mol·kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	干组织产率 yield rate of dry tissue (g·kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
	CO <sub>2</sub> (g·m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	O <sub>2</sub> (mol kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )		
阔叶林土壤 broad-leaf forest soil	3.989	0.000332	0.00199	0.0199
针叶林土壤 coniferous forest soil	3.427	0.000285	0.00171	0.0171
非林垦耕地土壤 non-forest reclaimed land soil	3.298	0.000275	0.00165	0.0165

注：吸 O<sub>2</sub> 量据 瓦格纳<sup>[1]</sup>按释出 CO<sub>2</sub>7.2g·m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>相当于吸 O<sub>2</sub> 19.2mg·kg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>的比例计算，并以 mol 来表示。

Note: O<sub>2</sub> absorbed was calculated according to Wagner<sup>[1]</sup> with evolved CO<sub>2</sub>7.2 g·m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> equal to absorbed O<sub>2</sub> 19.2 g·kg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> and expressed in mol.

### (三) 不同土壤微生物组织的半衰期及更新周期

土壤微生物在生长活动过程中，不断地分解利用土壤中有有机残物合成自身的机体，在新生的机体不断成长的同时，衰老的机体在不断消亡。消亡后的残体又成为可利用的基质逐步被分解矿化；这样，植物残体中来自土壤的矿质元素，通过微生物的消长代谢，重又归还到土壤中而构成生物循环。每年通过这一循环归还土壤的物质元素的数量，除与土壤中微生物生物量的大小有关外，还与其生长繁殖速度，从生长到衰亡的周期的长短直接相关。

关于确定微生物组织物质总量（即生物量）更新周期的组织转化因数、半衰期的计算，瓦格纳<sup>[1]</sup>认为，如果已知的生物量（ $x$ ）为恒定，并得知其单位时间新物质产量即表 2 计得的组织产率（ $a$ ），则转化系数（ $K$ ）可以用一级 Michealis-Menten 方程按下式计算：

$$K = 2.303 \lg [X / (X - a)] / t \quad (t \text{ 为时间})$$

$$= \ln [X / (X - a)] / t \quad (I)$$

微生物组织的半衰期即随着生物体衰亡，物质量降至原来一半所经历的时间，与其组织生长至成倍数增殖时所经历的时间相等。故将（I）移项，并设  $a = X/2$ ，计得的相应时间，即为组织的半衰期（ $t_{0.5}$ ）。

$$t_{0.5} = 2.303 \lg [X / (X - a)] / K$$

$$= \ln 2 / K \quad (II)$$

Jenkinson 的有关研究<sup>[6]</sup>得出，微生物生物量的转化周期  $T$  与半衰期  $t_{0.5}$  有如下关系：

$$T = t_{0.5} / \ln 2 \quad (III)$$

将式（II）代入式（III）可知，生物量的转化周期，实际上就是转化系数  $K$  的倒数即

$$T = 1 / K \quad (IV)$$

本区几种土壤的微生物组织产率 ( $a$ ) 已作出计算 (表 2), 它们相对稳定的生物量水平 ( $X$ ) 已由多年连续定位观测得到的结果确定下来<sup>[3]</sup>, 根据上述方式 (I) — (IV) 我们分别计得几种土壤的微生物组织转化系数 ( $K$ )、半衰期 ( $t_{0.5}$ ), 转化周期 ( $T$ ) 和每年更新的次数 ( $d$ ) 列于表 3, 从中可以看出, 阔叶林、针叶林和非林垦耕地微生物生物量的更新周期分别为 63、50 和 36 天, 这比由实验室观察细胞分裂计得的繁殖周期 (0.01—0.1 天) 长; 而比 Jenkinson<sup>[6]</sup> 研究计得的微生物生物量转化周期 (1.25—2.5 年) 要短, 但与 Звягинцев<sup>[7]</sup> 研究指出的“一般土壤微生物繁殖周期至少在 10—11 天以上”近似。考虑到生境实际远比实验室培养条件复杂, 生长限制因素较多; 温湿地带土壤微生物生长繁殖比较迅速, 认为年更新数百千代或 1—2 年多才更新一代都似乎并不切合这里土壤的实际。

表 3 不同林地土壤微生物生物量更新周期的计算

Table 3 Calculation of the turnover time of microbial biomass in different forest soils

土 壤 soil	生物量干组织 dry tissue of biomass ( $X$ ) ( $g \cdot kg^{-1}$ )	干组织产率 yield rate of dry tissue ( $a$ ) ( $g \cdot kg^{-1} d^{-1}$ )	转化因数 transformation factor ( $K$ ) ( $g \cdot kg^{-1} d^{-1}$ )	半 衰 期 half-life time ( $t_{0.5}$ ) (d)	更新周期 turnover time ( $T$ ) (d)	更新代数 times of turnover (times: $a^{-1}$ )
阔叶林土壤 broad-leaf forest soil	1.2558	0.0199	0.0160	43.3	63	5.8
针叶林土壤 coniferous forest soil	0.8586	0.0171	0.0201	34.5	50	7.3
非林垦耕地土壤 non-forest reclaimed land soil	0.5996	0.0165	0.0279	24.8	36	10.2

#### (四) 不同土壤微生物营养物质的年归还量

土壤微生物在其生长活动过程中, 衰老个体消亡的同时还有新生个体在成长发育延续不断地繁衍。更新周期指的是它们从新生个体成长至衰老消亡所经历的时间。在生物量处于恒定的情况下, 一定时间内它们成长增加和消亡减少的生物物质质量是相等的, 每一周期完全更新的物质质量则与其恒定的生物量等同。如果计得的更新周期和年中更新代数可信, 则不同土壤每年内微生物组织衰亡矿化归还的营养物质质量可以按它们各自生物量中营养物质的贮量<sup>[8]</sup>和年更新代数来计算。表 4 是由此而计算得到结果。

从表 4 可以看出, 几种土壤每年通过微生物归还土壤的营养物质的数量是相当可观的, 它们随林冠植被密度、凋落残谢有机物量和相应微生物数量的增大而增大, 其中 N, P 和 K 分别达 0.78—0.94, 0.61—0.73 和 0.51—0.62 ( $t \cdot ha^{-1} a^{-1}$ ), 相当于每亩每年归还 N, 52—63; P, 41—49 和 K, 34—41kg, 近于或超过一般耕种土壤的年施肥量。

其中 C 素的归还量 1.8—2.2  $t \cdot ha^{-1} a^{-1}$  两种林地平均近 2.0  $t \cdot ha^{-1} a^{-1}$ 。与我们由模拟方程预报的年呼吸量分析计得的微生物转化总 C 量中被同化归还的 C 素量 1.8  $t \cdot ha^{-1} a^{-1}$ <sup>[2]</sup> 大致近同。

表 4 不同林地土壤微生物转化归还的营养物质元素量

Table 4 Quantity of nutritive elements transformed and returned by microbes in different forest soils

土 壤 soil	生物量-C biomass-C (kg·ha <sup>-1</sup> )	更新次数 times of turnover (times·a <sup>-1</sup> )	营 养 元 素 归 还 量 Quantity of nutritive elements being returned (t·ha <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )				
			C*	N	P	K	Ca
阔叶林土壤 broad-leaf forest soil	1082.96	5.8	2.20	0.942	0.728	0.615	0.088
针叶林土壤 coniferous forest soil	740.54	7.3	1.89	0.811	0.627	0.530	0.076
非林垦耕地土壤 non-forest reclaimed land soil	517.16	10.2	1.83	0.784	0.606	0.512	0.073

\* 只计算被同化利用部分 (占转化总 C 量的 35%)。

Only that part which was assimilated and utilised (in 35% of the total transformed C) was calculated.

显然, 上述计得每年通过微生物归还土壤的营养物质, 并不是如数积存于土壤, 而是不断地为植物及其他生物所同化利用, 重新合成新的有机体, 以维持生态系统的自然平衡。过去, 有关的定性比较研究已从理论上阐明了微生物在土壤中起着营养库的作用, 这一研究则通过定量化分析计算, 对这种作用作出了更具体的证明。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 瓦格纳 G.H. 著 (岳莹玉译), 1982: 微生物生长与碳素转化。土壤生物化学, 第 3 卷, 481—498。农业出版社。
- [ 2 ] 邓邦权等, 1989: 鼎湖山自然保护区土壤微生物呼吸代谢量与土壤碳素平衡的概算。热带亚热带森林生态系统研究。(本集)。
- [ 3 ] 邓邦权等, 1989: 鼎湖山自然保护区不同林被土壤微生物生物量水平与生物营养物质的库贮量。(本集)。
- [ 4 ] 王德琼等, 1986: 土壤空气中 CO<sub>2</sub> 及土壤呼吸强度的野外现场检测。全国青年土壤科学工作者学术讨论会论文摘要集, 第 64 页。
- [ 5 ] 邓邦权等, 1988: 华南酸性土壤中微生物生物量的熏杀分解法检定。广东土壤通讯, 第 1 期, 第 27 页。
- [ 6 ] D.S. Jenkinson and J.N.Ladd, 1981: Microbial biomass in soil measurement and turnover. In "Soil Biochemistry" Vol. 5, Ed by E.A. Paul and J.N. Ladd. New York. 415—471.
- [ 7 ] Д. Г. Звягинцев, В. Е. Голибег, 1983: Динамика микробной численности биомассы и продуктивность микробных сообществ в почвах. В "Успехи микробиологии" 18. Москва. 215—231.

# TURNOVER TIME OF MICROBIAL BIOMASS AND RETURN QUANTITY OF BIO-NUTRITIVE MATERIAL IN DIFFERENT FOREST SOILS IN BIOSPHERE RESERVE OF DINGHU SHAN\*

Deng Bangquan and Lu Lucheng

(*Institute of Soil Science of Guangdong Province, Guangzhou 510650*)

## Abstract

The substrate transformation and tissue synthetic rate of microbes in different forest soils were analysed according to the microbial respiratory intensity calculated from the soil respiration which was observed in the fixed position within several years.

The turnover time of microbial biomass in broad-leaf forest soil, coniferous forest soil and non-forest reclaimed land soil were 63, 50 and 36 days, respectively, which were calculated in combination with the mean level of corresponding soil microbial biomass.

According to reserve capacity of bio-nutritive material in related soils, the annual return quantity of C, N, P, K and Ca were calculated. They were 1.8—2.2, 0.78—0.94, 0.6—0.7, 0.5—0.6 and 0.07—0.09  $t \cdot ha^{-1} a^{-1}$ , respectively.

**Key words:** Forest soil microbes; Microbial biomass; Material cycle

---

\* This work is a part of the titles funded by National Scientific Fund.