

鼎湖山自然保护区林地土壤微生物呼吸代谢量 与土壤碳素平衡的概算*

邓邦权 吕禄成 王德琼 李大文

(广东省土壤研究所)

摘 要

根据土壤水热效应及有关研究结果,由土壤水热条件观测数据计得阔叶、针叶林土壤呼吸释出 $\text{CO}_2\text{-C}$ 分别为 5.71 及 $5.42 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$,其中微生物异化释出的分别为 3.43 及 $3.25 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 。以此对照林木凋落残谢物 C 量所作的平衡概算表明:阔叶林土壤的 C 素和能量处于正的平衡。它们的累积量分别为 $1.45 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 和 $1.45 \times 10^7 \text{ kcal}^{(1)} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 。

关键词: 土壤呼吸量; 土壤碳素转化; 土壤碳素平衡

前 言

生态系统中,物质能量的平衡是预测其基本功能发展趋势的重要依据。C 素是一切生物有机体的基础组成,它的这种有机态结合,又是能量存在的基本形式,C 素形态的转移与平衡,也就代表着物质能量的平衡。

在自然生态系统中,物质生产者(绿色植物)通过光合作用,将无机态 CO_2 转化为含 C 有机物,或经过物质消费者(动物)的改造利用,产生的残余物最终都归还到土壤中,再由物质分解者(微生物)进行无机化分解,释放出无机态的 CO_2 。土壤、微生物在物质能量转化、C 素迁移与平衡中起着重要的作用。

瓦格纳曾以“C 素通过光合作用而进入生物圈,又通过呼吸作用而离去”的提法,简明地阐述了自然界 C 素的转化与循环^[1]。对具有呼吸、代谢和酶催化反应,并被称为类生物体的土壤来说,其中的含 C 有机物虽并非直接来自光合作用(主要是各种生物的有机残体),但它们的无机化离去,仍然是通过土壤的呼吸作用。因此,我们专门研究了反映土壤 C 素释放的土壤原位呼吸检测方法^[2],探索了预测土壤原位呼吸年变化的途径^[3]。本文根据有关研究结果^[1, 3, 5],对本区土壤呼吸作了剖析,并对土壤 C 素和相应

* (1) 本研究为国家基金资助的“鼎湖山自然保护区不同林地土壤微生物化学强度研究”课题的一部分。

(2) 参与课题工作的尚有葛荣盛、杨风同志;张秉刚同志提供土壤水热条件观测数据资料,一并致谢。

1) kcal (卡)=4.1868J, 下同。

物质能量的平衡作出概算。

一、方 法

在鼎湖山森林土壤微生物生化过程强度的研究中,除以传统的实验室方法分析不同土壤微生物的数量组成、固氮、氨化、解纤、呼吸等的强度外,还引用新的方法测定了土壤有关代谢酶的活性和土壤微生物总的生物量^[4]。这对进一步认识土壤中微生物的存在状况及其与土壤物质转化的关系有深刻的意义。但是,要从这些检测结果来定量地评价土壤有机物质无机化的总强度,仍是不可能的。因为不管是传统生化强度或酶活性检测,都仅仅是特定(往往是理想化的)条件下,反应物(残余底物、中间物或最终产物)的比较测定,反应条件和反应结果往往与土壤的实际情况差异很大;用ATP法或其它方法检出的微生物生物量,虽然在定量地反映微生物存在方面较之传统的数量组成分析有所突破,但至今,检测单位生物量所能转化的物质能量,还缺少可供换算的有效依据。

根据土壤C素转移特点,用野外现场测得的土壤原位呼吸(CO₂释放)强度,作为土壤有机物无机化强度的判断依据,还是较适宜的。因为所测得的所有无机CO₂的来源十分广泛,其中不仅有微生物(真菌、细菌、放线菌),而且还包括了近于定居性的原生动物,低等动物和植物根系的呼吸及其分泌物,甚至包括土壤中各种酶的催化反应过程释放出的无机态CO₂。尽管有机物分解过程非常复杂,如不同生物对有机物的改造、利用(咀嚼、吞噬、侵蚀),同化合成(高分子物质降解形成的低分子物质,被再利用合成新的机体),以及难利用部分逐步合成相对稳定的大分子物质(腐殖质等)。但这些大都只是含C有机物形态上的改变,并没有实现无机化而离开土壤。离开土壤的无机化C素,必然在上述的原位土壤呼吸强度中得到反映。

根系呼吸实际上是植物体C素平衡的一部分,即:(光合吸入CO₂-C) - (根茎叶呼吸释出CO₂-C) = 植物合成的有机态C。真正代表土壤生物、生化过程释出的无机化CO₂的,应为土壤原位呼吸与根系呼吸之差值,即广义的微生物呼吸。它也是土壤C素输出的主要途径。游走性动物呼吸或随径流离去的C素属于少数。而有机-C的进入,即使有些来自游走性动物的尸体,但主要来源还是林被植物的残谢凋落物。在未能获得其他观测数据的情况下,通过上述C素输入、输出两个主要途径的比较,仍可以看出土壤C素平衡的基本趋势。

作者曾专门研究用于现场检测土壤原位呼吸的方法^[2]。经过对土壤呼吸影响诸因子的分析,并就土壤温度和水分两个主导因子对土壤原位呼吸的效应进行了模拟试验,建立了不同土壤中二者之间回归方程^[3]。为从土壤水热连续观测记录,预计土壤呼吸强度的变化提供了依据,也为研究土壤C素转移与平衡提供了有效手段。

二、土壤的年呼吸量

根据模拟试验得出的回归方程^[1],以及1986、1987两年内观测所得的0—15 cm土层温度和水分月平均数据,计得不同林地土壤月平均呼吸强度和呼吸量(见表1)。表1

表 1 不同土壤年呼吸强度、呼吸量的计算结果*

Table 1 Calculated results of respiratory intensity and capacity of soils under different forests in a year

月 份	阔叶林土壤 Broad leaf forest soil				针叶林土壤 Coniferous forest soil				合 计 Total	
	呼吸强度 Resp. intensity (CO ₂ g m ⁻² d ⁻¹)		呼吸量 Resp. capacity (CO ₂ kg ha ⁻¹ 30d ⁻¹)		呼吸强度 Resp. intensity (CO ₂ g m ⁻² d ⁻¹)		呼吸量 Resp. capacity (CO ₂ kg ha ⁻¹ 30d ⁻¹)			
	1987	1986	1987	1986	1987	1986	1987	1986		
1	3.559	3.667	1067.7	1100.1	3.991	4.325	1197.3	1297.5	4.00	
2	4.089	3.527	1226.3	1058.1	4.392	4.144	1317.6	1243.2		
3	5.185	4.109	1555.5	1232.7	5.551	4.858	1665.3	1457.4	4.18	
4	5.263	6.962	1578.9	2988.6	5.538	6.590	1661.4	1977.0		
5	8.351	7.514	2505.3	2254.2	6.329	6.501	1898.7	1950.3	5.89	
6	8.228	8.139	2486.4	2441.7	6.525	6.553	1957.5	1965.9		
7	7.488	8.087	2246.4	2426.1	6.421	7.046	1926.3	2113.8	5.67	
8	7.561	6.913	2268.3	2093.9	6.308	6.213	1892.4	1863.9		
9	6.793	6.072	2037.9	1821.6	6.078	5.633	1829.4	1689.9	4.54	
10	5.993	5.676	1797.9	1702.8	5.578	5.422	1673.4	1626.6		
11	4.769	4.388	1430.7	1316.4	5.168	4.608	1550.4	1382.4	4.29	
12	3.367	3.853	1010.1	1155.9	4.373	4.266	1311.9	1279.8		
合 计	21.21				20.67				19.89	19.85

* 由土壤水分温度观测数月平均值代入表 2 所得相应回归方程求得。水热观测数据由我所土壤物理研究室张秉刚同志提供。计算中每月按 30 天计，全年按 360 天计。

表明,不同林型的土壤呼吸强度或呼吸量,都以4—9月为最高,占全年呼吸量的50—60%以上,尤以阔叶林土壤更为明显。但在呼吸强度较低的10至翌年3月(低温季节),针叶林土壤的呼吸强度和呼吸量一般高于阔叶林,两者的全年呼吸量都在 $20-21 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 间,约合纯C 5.6 t 左右。这一结果虽比金沢晋二郎测得的纯C $6.9 \text{ t}^{[6]}$ 为低,但与Tsutsumi等测得纯C在 $4.5-6.4 \text{ t}^{[7]}$ 之间极近似。这种差异的存在,可能与采用方法,或所处的地理气候不同有关。

三、土壤微生物与碳素、能量的代谢转化

据有关研究结果^[1],土壤呼吸作用释出的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 只有60%左右来自微生物对含C有机物的分解,40%左右来自植物根系的生理代谢;而微生物呼吸释出部分,只是分解代谢的基质-C总量的65%,其余35%被同化用于其机体及其他有机物的合成。被分解的有机物含碳量通常近50%,结合态有机碳每克所蓄存的能量为 10 kcal 左右。据此,计得两种不同林地土壤微生物年呼吸量、C素的同化、异化代谢总量及相当于有机物和能的转化量(见表2)。它表明两种土壤有关数据近似,阔叶林土壤略高,就平均值来说,释出约 $5.6 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CO}_2\text{-C}$ 中,来自微生物异化分解的约 3.43 t ,而相应被同化利用或合成其他有机物的 1.8 t ,每年被微生物转化的有机残物约为 $10.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$,能量约 $5.4 \times 10^7 \text{ kcal ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 。

表2 不同土壤微生物呼吸量及其转化碳素能量的计算结果 ✓

Table 2 The calculated results of microbial respiratory capacities and transformative carbon and energy of different soils

土壤类型 Soil type	阔叶林土壤 Broad leaf forest soil	针叶林土壤 Coniferous forest soil	平均值 Mean value
土壤总呼吸碳量($\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) Total carbon of soil respiration	5.71	5.42	5.57
根系呼吸碳量 The carbon from root system respiration	2.28	2.17	2.25
微生物呼吸(异化)碳量 The carbon from microbial respiration (dissimilation)	3.43	3.25	3.34
微生物利用(同化)碳量 The carbon in microbial utilization (assimilation)	1.85	1.75	1.80
微生物代谢总碳量 The carbon transformed by microbes	5.28	5.00	5.14
微生物转化总能量($\text{kcal ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) The energy transformed by microbes	5.28×10^7	5.00×10^7	5.14×10^7
释放出能量 The evolved energy	3.43×10^7	3.25×10^7	3.34×10^7
留存的能量 The remained energy	1.85×10^7	1.75×10^7	1.80×10^7
有机残物转化量 ($\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) The transformed organic matter	10.56	10.00	10.28

四、土壤 C 素平衡的概算

土壤微生物呼吸释出 CO_2 ，是土壤有机物质无机化输出的一个主要途径。虽然部分土壤 C 素还可通过降雨径流渗漏等途径而被带走，但对于林区来说，由于林冠地被物的滞留、含蓄等作用，这种情况只是偶尔发生于连续降雨的条件下，其量较之呼吸释放量来说是少数。

进入土壤的 C 素，主要来自植物体的凋谢物。本区常绿阔叶林的凋落量为 $7.1-9.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ [4]，平均为 8.15 t ，含纯 C 4.17 t 左右。除地面上部残落物外，尚有地下根系的残谢物。据 Statchell 的研究，乔木植物地下根系生物量约为地上部的 20% [8]，若其残谢率与地上部相同，则由根系转入土壤的残谢物近 1.6 t ，来自植物地上、地下总的残谢物合计 9.75 t ，合纯 C 4.88 t 左右。除植物外，其他生物（包括动物及微生物）的残遗有机物中，许多原来就属土壤内部有机物形态转化的，只有游走性动物的排泄物或尸体是从外部进入土壤的，其量与植物凋落量相比也居少数。

通过土壤 C 素输入、输出两个主要途径迁移量的比较，可以对土壤 C 素平衡的基本趋势作出大致的估计。

计算得出阔叶林土壤中来自植物残谢物的 C 素为 $4.88 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ，表 2 计得其 C 素无机化释放量为 $3.43 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ，表 3 平衡计算结果表明：这种林地土壤 C 素处于正的平衡，土壤中含 C 有机物和相应的能量趋于累积，累积量分别为 $1.46 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 和 $1.46 \times 10^7 \text{ kcal ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 。尽管计算的具体数值并不代表这里土壤 C 素平衡的实际情况，但它所表明平衡趋势，与自然森林生态系统中土壤有机能源物质趋于富化的客观规律是一致的。

表 3 阔叶林地土壤碳素及相当的物质能量平衡

Table 3 The balance of the carbon and relevant matter and energy of broad leaf forest soil

项 目 Item	输 入(A) Import	输 出(B) Export	(A)-(B)
Organic residue($\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)	9.75	(6.86)*	2.89
Carbon($\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)	(4.88)*	3.43	1.45
Energy($\text{kcal ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)	4.88×10^7	3.43×10^7	1.45×10^7

* 括号内数字是相应的推算值。

Data in the bracket are the calculative value.

若考虑到阔叶林中游走性动物带来的残留有机物较多，而径流侵蚀损失较少，则其 C 素累积率则较上述为大。针叶林覆盖度和凋落量较阔叶林地小，而径流损失较阔叶林大，其累积量也较阔叶林地小。针叶林土壤上层有机-C 含量 (1.04%) 明显低于阔叶林 (2.15%) 的事实可以佐证。

结 束 语

本文的测算结果，在某种程度上验证了采用原位土壤呼吸检测法计算微生物(包括其

他生物、活性物质)矿化的C量和测算C素平衡的可信性与可行性,也在某种程度上反映了本区土壤生物、生化过程导致土壤物质能量转化的基本情况和C素平衡的大致趋势。

由于检测计算中某些依据并不完全来自实测,平衡计算中除C素进入(凋谢)和输出(呼吸)两个主要途径外,其他如游走性动物呼吸量、排泄、尸体归还量,以及凋落物、可溶性有机物的径流渗失量等都因缺乏可用数据而没有参与平衡计算,所以计算结果只能定性地反映平衡的基本趋势。更准确地反映本区土壤C素平衡实际情况的定量计算,还有待进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 瓦格纳, C.H.(冈九康等译), 1984: 微生物生长与碳素转化. 土壤微生物化学, 农业出版社, 481—498页.
- [2] 王德琼, 邓邦权, 1986: 土壤空气中CO₂及土壤呼吸强度的野外现场比色测定. 青年土壤科学工作者学术讨论会论文摘要集.
- [3] 邓邦权, 吕禄成, 王德琼: 鼎湖山自然保护区森林生态系统土壤呼吸的水热效应.(印刷中)
- [4] 邓邦权等, 1987: 鼎湖山自然保护区不同林型下土壤微生物生物量. 人与生物圈论文集, 52—68页.
- [5] 屠梦照, 1985: 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物量. 热带亚热带森林生态系统研究, 第2集, 18—24页.
- [6] 金沢晋二郎, 1976: 本地域における野外の土壤呼吸量について. 日本土壤肥科学杂志, 47(12): 549.
- [7] *Tsutsumi Toshio et al.*, 1985: On the effects of soil fertility on the rate of soil respiration in a forest. *Jap. J. Ecol.* 35(2): 202—214.
- [8] *J. Statchell*, 1970: Introduction of the world's forests (J. Duvingneaud, Ed.) Brussels.

THE ESTIMATION OF THE RESPIRATORY CAPACITY AND CARBON BALANCE OF THE SOILS IN THE FOREST ECOSYSTEM OF DINGHU SHAN BIOSPHERE RESERVE

Deng Bangquan Lu Lucheng Wang Deqong and Li Dawen

(*Institute of Soil Science of Guangdong Province*)

Abstract

According to the results of the investigation in the effects of temperature and moisture on the soil respiration and the observation of the litter production in the forest of Dinghu Shan Biosphere Reserve, to calculate the soil respiratory capacities using the data of the soil temperature and soil moisture observed on the same spot and to estimate of the soil carbon and energy balance were made.

The CO₂-C evolved from the situs soil respiration of the broad leaf forest and the coniferous forest soil was about 5.71 and 5.42 t·ha⁻¹·a⁻¹ respectively. In which, the parts that come from soil microbial dissimulation of two forest soils were about 3.43 and 3.25 t·ha⁻¹·a⁻¹ respectively. These data was contrasted with carbon contained in the residue from the forest plants, and the rough estimation of the balance of the carbon and energy in the broad leaf forest soil was positive, their accumulative rates in a year were 1.64t ha⁻¹ and 1.64×10⁷ kcal ha⁻¹ respectively.

Key words: Soil respiratory capacity, Soil carbon transformation, Soil carbon balance