第 41 卷 第 3 期
2004 年 5 月

土 壤 学 报
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol. 41, No. 3
May, 2004

土壤微生物生物量碳的表观周转时间测定方法*

吴金水 肖和艾
(中国科学院亚热带区域农业研究所, 长沙 410125)

摘 要 土壤微生物生物量碳周转对土壤有机质和养分循环起着决定作用。本研究建立了土壤微生物生物量碳周转时间的测定方法。培养条件下(25℃、100% 湿度), 加入 ^{14}C 标记葡萄糖标记土壤微生物生物量碳, 在 100 d 培养期内, 每隔 20 d 测定一次 ^{14}C 标记微生物生物量碳(^{14}C-B_C), 采用一级热力学方程拟合测定期内(20~ 100 d) ^{14}C-B_C 的周转速率常数(k), 由此计算土壤微生物生物量碳的表观周转时间。测定的 5 个土壤在培养条件下微生物生物量碳的周转时间为 93~ 400 d, 根据培养温度和实际田间年平均温度推算得到田间条件下土壤微生物生物量碳的周转时间为 1.0~ 4.1 a。其主要影响因子为土壤质地, 土壤利用方式的影响较小。土壤微生物生物量碳的周转时间能较好地反映土壤微生物生物量的周转状况及其与土壤有机质的周转和积累的关系。

关键词 土壤微生物生物量碳; 表观周转时间; ^{14}C 标记
中图分类号 S 154.36 文献标识码 A

尽管微生物生物量碳通常仅占土壤有机碳的 1% ~ 4%, 但微生物是土壤有机质转化和分解的直接作用者, 并且在土壤主要养分(如 N、P、S) 的转化过程中起主导作用[1~3]。测定土壤微生物生物量碳的周转动力学特性(周转速率或时间) 是进一步了解土壤有机质和重要养分元素的转化与积累的重要手段[1]。

已有研究表明土壤微生物生物量碳可以作为土壤有机质变化的早期预测指示[1~4]。但由于在自然条件下大部分土壤微生物处于休眠状态, 因此土壤微生物的总体生物量并不能直接反映微生物分解有机质的实际活性。Jenkinson 等[5] 采用土壤有机碳模型预测土壤微生物生物量碳、氮周转时间。McGill 等[6] 根据土壤微生物生物量的季节变化估计土壤微生物生物量碳周转时间, 并讨论了在田间条件下温度、湿度和管理方式对土壤微生物生物量碳周转的影响。这两种方法都仅能提供土壤微生物生物量碳的周转速率的间接信息。

Chaussod 等[7] 提出一种直接测定在培养条件下土壤微生物生物量碳周转时间的方法。他们用添加 ^{14}C 标记葡萄糖或黑麦草标记土壤微生物生物量碳(^{14}C-B_C), 再根据土壤微生物生物量碳的 ^{14}C 放射强度的相对变化(或者 ^{14}C 与 ^{12}C 的比例) 估计其周转时间。这种方法的缺陷在于不能排除土壤微生物生物量碳总量变化的影响, 因为微生物生物量碳的 ^{14}C 放射强度的相对变化是由 ^{14}C 标记部分的土壤微生物生物量碳的周转(即实际测定对象) 和微生物生物量碳总量变化所决定(1)。Wu(1) 研究了添加 ^{14}C 标记葡萄糖或黑麦草后土壤微生物生物量碳的周转状况, 提出以添加 ^{14}C 标记葡萄糖在培养 20~ 100 d 中所测定 ^{14}C 标记微生物生物量碳(^{14}C-B_C) 的周转速率指示土壤微生物生物量碳的周转速率(即本文的方法)。Kouno 等[8] 采用 ^{14}C 和 ^{32}P 双标记黑麦草标记土壤微生物生物量碳、磷, 测定培养期间(10~ 60 d) ^{14}C 和 ^{32}P 标记土壤微生物生物量碳、磷的变化计算土壤微生物生物量碳、磷的周转时间。

本文以 Wu(1) 的研究为基础, 阐述了测定土壤微生物生物量碳周转时间的原理, 进一步讨论了 ^{14}C 标记土壤微生物生物量碳及其周转速率的测定方法和技术, 分析了培养条件下所测定的土壤微生物生物量碳周转时间与田间条件下的周转时间的关系以及与土壤有机质周转和积累的关系。

* 国家杰出青年科学基金(49925102)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-426)、中国科学院与英国皇家协会合作研究项目联合资助
作者简介: 吴金水(1961~), 研究员, 从事土壤有机质和养分循环与计算机模拟研究。E-mail: jswu@isa.ac.cn
(1) Wu J. The turnover of organic C in soil. Ph. D., University of Reading, 1990
收稿日期: 2003-05-16; 收到修改稿日期: 2003-09-20

1 基本原理

土壤微生物生物量不断发生着生物代谢过程。一方面不断地同化土壤中的有机物质合成微生物生物量(生物量碳的输入过程);另一方面其自身不断地发生新陈代谢过程,使部分生物量经降解转化为代谢产物或矿化为 CO_2(生物量碳的输出过程),构成土壤微生物生物量碳的周转。这里"周转"的定义不包括死亡的微生物被再利用而重新转化到新生长的微生物中的碳,因为参与这一过程的碳并没有离开微生物生物量碳库。土壤微生物生物量碳的周转速率是整个土壤微生物生物量碳库的更新速度,即指单位时间通过(进入或输出)的碳量。土壤微生物生物量碳的周转时间是指更新与土壤微生物生物量碳库等量碳理论上所需要的时间。

通常认为土壤微生物生物量碳的降解遵循一级热力学方程[1]。假设 $t=0$ 时,土壤微生物生物量碳为 Y_0,那么,经过一段时期(t)代谢后土壤微生物生物量碳(Y_t)为:

$$Y_t = Y_0 \times e^{-kt} \tag{1}$$

式中,k 为土壤微生物生物量碳周转速率常数。

单位时间内土壤微生物生物量碳的周转量(R_t)为:

$$-R_t = -\frac{dY_t}{dt} = -k \times Y_t \tag{2}$$

在稳定状态下土壤微生物生物量碳分解和合成速率相等,因此其周转时间(T)可表示为:

$$T = \frac{Y_t}{R_t} \tag{3}$$

根据方程(2)和(3),周转时间可表示为:

$$T = \frac{1}{k} \tag{4}$$

由于自然状态下土壤微生物生物量库的输入或输出碳量不能直接测定,因此需要对土壤微生物生物量碳库进行标记,通常采用 ^{14}C 标记技术。假定 ^{14}C 标记微生物生物量碳的降解速率与其碳库中原有的碳(包括未标记部分)的降解速率一致,就可以用 ^{14}C 标记微生物生物量碳的降解速率反映土壤微生物生物量碳的周转速率。

2 材料与方法

2.1 土壤

选择英国洛桑试验站长期定位试验(Highfield、Broadbalk、Hoosfield、Woburn、Northfield)典型处理的土壤,其利用管理和基本性质列于表 1。该地年平均温度为 9.3 ℃[16],属北温带湿润气候。其中 Highfield、Broadbalk、Hoosfield 为相同土壤母质发育的轻壤土,属于 Batcombe 土系(英国土壤分类方法);Woburn 和 Northfield 分别为砂壤土(Cottenham 土系)和轻粘土(Lawford 土系)。土样采自耕作层(0~23 cm),过筛(孔径 2 mm),调节土壤含水量至田间饱和持水量 40%,在 25 ℃、100% 湿度和黑暗条件下预培养 10 d。

表 1 土壤来源、利用管理状况和基本特性

Table 1 Site, management and basic properties of the soils used

土壤编号 Soil No.	来源 Sample site	利用方式[1)] Management[1)]	粘粒含量 Clay content (%)	pH (H_2O)	有机碳 Organic C ($g\ kg^{-1}$)	全氮 Total N ($g\ kg^{-1}$)
1	Highfield	草地(N)	24	5.3	34.0	3.09
2	Broadbalk	小麦连作(NPK)	24	7.2	10.5	1.28
3	Hoosfield	休闲	24	7.4	12.3	1.09
4	Woburn	耕地(NPK)	15	6.5	11.2	1.06
5	Northfield	大麦连作(NPK)	39	7.2	34.8	3.38

1) 括号内为肥料处理,N、P 和 K 的年施入量分别为 96、35 和 90 kg hm^{-2} Letters in parentheses indicate treatments with fertilizers as N, P, K at annual rates of 96, 35 and 90 kg hm^{-2}, respectively

2.2 ^{14}C 标记土壤微生物生物量碳

按需要量配制放射强度为 1 075 Bq mg^{-1} C、含量为 C 10 mg ml^{-1} 的 ^{14}C 标记葡萄糖溶液,并用 $(NH_4)_2SO_4$ 将其 C∶N 比调节为 30∶1。从每个预培养土壤中分称相当于烘干基重为 40 g 的样品 36 份于 125 mL 广口玻璃瓶中,每份加入上述葡萄糖溶液 4 mL(葡萄糖的添加量为 C 1 000 μg g^{-1} 土),轻轻地彻底混匀(防止结块)。将有样品的广口玻璃瓶放置

于 1.1 L 培养瓶中, 同时将盛有 10 mL 浓度为 1 mol L^{-1} NaOH 的烧杯一只放置其中。培养瓶中加少量水, 以保持 100% 湿度。密封后在 25℃黑暗条件下培养。培养前和培养期内 3、20、40、60、80、100 d, 每个土壤分别取 6 份样品, 用于测定微生物生物量碳(总生物量碳)和 ^{14}C-B_C。

2.3　测定方法

土壤微生物生物量碳(总生物量碳)测定采用熏蒸提取- 碳自动分析仪器法(Wu 等[9])。取上述土壤 6 份(每份相当于烘干基重为 40 g), 其中 3 份土壤用去乙醇氯仿熏蒸 24 h, 除去土壤中氯仿, 加入 0.5 mol L^{-1} K_2SO_4 浸提剂(土液比 1∶4, *W*/*V*), 振荡浸提 30 min(300 r min^{-1}), 用中速定量滤纸过滤。另 3 份土壤不熏蒸, 浸提方法同上。浸提液中有机碳含量采用碳分析仪(Dohrman DC80)测定。总生物量碳= 2.22×(熏蒸土壤浸提的有机碳- 不熏蒸土壤浸提的有机碳)。^{14}C-B_C 测定采用 Wu 等[10] 的方法, 取上述 1.00 ml 土壤 K_2SO_4 浸提液加入 15 ml RIA 闪烁剂和 2 ml 蒸馏水, 混合液 ^{14}C 放射强度采用自动液体闪烁仪(Beta Matic)测定计数 5.00 min, 测得的每分钟计数(CPM)通过 ^{14}C 计数曲线转换为每分钟裂变量(DPM), 采用 ^{14}C 含量为 130×10^3 DPM ^{14}C标准甲苯制备 ^{14}C 计数曲线。浸提液中 ^{14}C 标记有机碳= (待测液 ^{14}C 每分钟裂变量×浸提液体积)/(土壤烘干基重× 添加 ^{14}C 葡萄糖放射强度)。^{14}C-B_C= 2.22×(熏蒸土壤浸提的 ^{14}C 标记有机碳) - 不熏蒸土壤浸提的 ^{14}C 标记有机碳)。

土壤 pH(H_2O) 测定采用风干土壤加入蒸馏水(土水比 1∶2, *W*/*V*) 浸提。土壤有机碳测定采用重铬酸盐氧化法[11]。土壤全氮采用 Kjeldahl 法消化[12]、氮分析仪(Technicon) 测定。

3　结果与讨论

3.1　土壤微生物生物量碳标记

培养 3 d 后, 所有土壤(不熏蒸) K_2SO_4 浸提的 ^{14}C标记有机碳(C 4.0~ 8.7 μg g^{-1}, 表 2) 占添加葡萄糖碳(C 1000 μg g^{-1}) 都不到 1% (0.40% ~ 0.87%)。表明在 3 d 内添加的葡萄糖已完全分解, 转化为 CO_2-C、微生物生物量碳和相对稳定的代谢产物碳。这与以前的研究一致[10,13,14]。培养 20~ 100 d, 所有土壤(不熏蒸) 的 K_2SO_4 浸提 ^{14}C 标记有机碳(主要为代谢物碳) 占浸提的总有机碳比例也较小(1.8%~ 7.0%)(表 2)。因此可以忽略这一时期内 ^{14}C 标记葡萄糖代谢产物对微生物生物量碳周转时间测定的影响。

表 2　不熏蒸土壤 0.5 mol L^{-1} K_2SO_4 浸提的总有机碳和 ^{14}C 标记有机碳

Table 2　Total and labelled organic C extracted in 0.5 mol L^{-1} K_2SO_4 from unfumigated soils

土壤编号 Soil No.	浸提有机碳 Extractable organic C (C μg g^{-1})			^{14}C 标记有机碳 Labelled organic C (C μg g^{-1})		^{14}C 标记有机碳/总有机碳 Labelled/Total (%)	
	0 d	3 d	20~ 100 d[1)]	3 d	20~ 100 d[1)]	3 d	20~ 100 d
1	142	135	132±23	4.0±0.4	2.4±0.4	2.96	1.82
2	60	66	50±6	7.3±1.3	3.5±1.5	11.06	7.00
3	60	64	40±2	8.7±1.6	2.7±0.3	13.59	6.75
4	58	64	48±2	8.5±1.3	1.8±0.5	13.28	3.75
5	97	82	67±7	7.2±0.2	2.2±0.5	8.78	3.28

1) 培养 20~ 100 d 期间 5 次测定的平均值和标准差　Mean of five measurements at 20, 40, 60, 80, 100 days, followed by standard deviation

添加 ^{14}C 标记葡萄糖培养 3 d 后, 实验土壤中的 ^{14}C 标记微生物生物量碳(^{14}C-B_C) 达到 210~ 450 μg g^{-1}(图 1)。在 3~ 20 d 内, 全部土壤的 ^{14}C-B_C 与其总量(B_C) 同步大幅度下降, 说明 ^{14}C-B_C 周转动力学与土壤的 B_C 一致。同时也说明添加葡萄糖对土壤微生物生物量碳的周转影响仍未结束, 因此这一阶段内 ^{14}C-B_C 的变化不能客观地反映土壤微生物生物量碳的周转速度。培养 20~ 100 d, 所有土壤中总生物量碳和 ^{14}C-B_C 的周转恢复正常状态, 即 B_C 和 ^{14}C-B_C的变化速率基本保持恒定(图 1)。证明培养 20~ 100 d 测定的 ^{14}C-B_C 降解速率可用于指示土壤微生物生物量碳周转速率。综上所述, 对于测定土壤微生物生物量碳的周转时间, 采用 ^{14}C 标记葡萄糖(添加量 C 1 000 μg g^{-1}) 标记土壤微生物生物量碳是合适的, 添加葡萄糖后培养 20 d 再进行测定可避免底物对土壤微生物活性的影响。

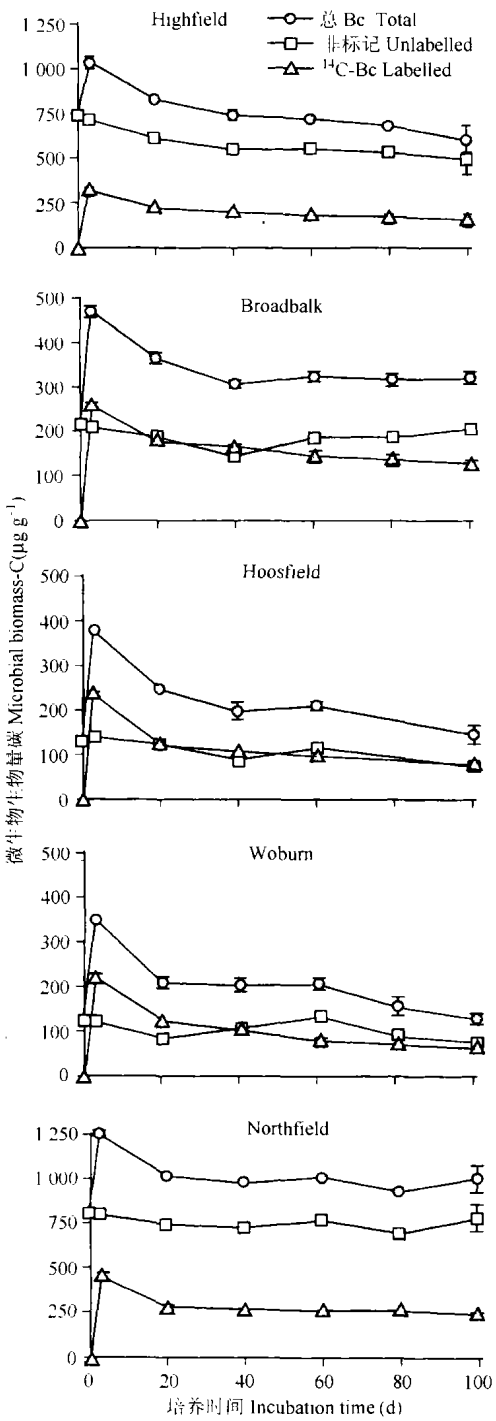

图 1 添加^{14}C 标记葡萄糖的土壤中微生物生物量碳变化(误差为平均数的标准差, n= 3)

Fig 1 The changes in soil microbial biomass-C in the ^{14}C-labelled glucose amended soils(The bars represent the standard deviations of means, n= 3)

3.2 土壤微生物生物量碳的周转速率常数和周转时间

表 3 为培养期内^{14}C-Bc 的周转速率常数和周转时间。结果表明,所有土壤在培养 20~ 100 d 测得的 5 次^{14}C-Bc 值可用一级热力学方程表示,相关性都达到极显著水平(r= 0.96~ 0.99)。据此得到^{14}C-Bc的表观周转速率常数(2.66×10^{-3}~ 10.8×10^{-3} d^{-1}) 的标准差很小(0.08×10^{-3}~ 0.54×10^{-3} d^{-1})。由于熏蒸提取法测定土壤微生物生物量碳的允许误差至少为 10%[15],采用 2 次测定值计算土壤微生物生物量碳周转速率常数会产生较大误差,特别是当测定值相差不大的情况下。通过 5 次测定,可降低速率常数的误差,使估计的微生物生物量碳的周转时间更可靠。根据培养 20~ 100 d 测得的^{14}C-Bc的速率常数,按方程(4) 即可计算得到土壤微生物生物量碳的表观周转时间。本研究采用的 5 个土壤,在培养条件下(25℃, 100% 湿度) 土壤微生物生物量碳的周转时间为 93~ 396 d(表 3)。

计算结果表明,土壤微生物生物量碳的周转时间与土壤质地和利用方式有密切关系(表 1, 表 3)。土壤粘粒含量由 15% (4 号土) 分别增加到 24% 和 39%,土壤微生物生物量碳周转时间由 96 d 增加到 145~ 186 d(1~ 3 号土) 和 396 d(5 号土)。在粘粒含量相同但利用方式不同的 3 个土壤(1~ 3 号土) 中,微生物生物量碳的周转时间亦有明显差异,依次为休闲地(3 号土, 145 d) < 草地(1 号土, 158 d) < 小麦连作(2 号土, 186 d)。但土壤利用方式的影响远小于土壤质地。这与 Chaussod 等[7] 的研究结果是一致的。本研究测定的 Highfield 草地和 Broadbalk 小麦连作土壤的微生物生物量碳周转时间(158~ 186 d) 比由 Kouno 等[8] 报道的结果要大得多(95 d)。其原因可能是 Kouno 等[8] 的前期培养时间短(10 d),而黑麦草的分解速率又远比葡萄糖慢[10],因而土壤微生物生物量碳的周转仍处于加入底物的活跃阶段。

3.3 田间条件下土壤微生物生物量碳的周转时间的推算

上述土壤微生物生物量碳周转时间是在 25℃ 和 100% 湿度培养条件下获得的结果,并不代表在田间条件下土壤微生物生物量碳的实际周转时间。Jenkinson 等[16] 在模拟洛桑试验站长期定位试验(包括本研究选择的 Highfield、Broadbalk、Hoosfield、Woburn) 土壤有机碳周转时,估计有机碳分解速率在标准条件下(25℃和 100%) 与在田间条件下相差 3.8 倍。采用 3.8 作为转换系数,计算得到本研究采用的土壤在田间条件下微生物生物量碳的周转时间为 0.97~ 4.12 a(表 4)。

表 3　土壤中 ^{14}C-B_C 的周转速率常数和周转时间

Table 3　The turnover rate constant and turnover time of ^{14}C-labelled biomass C in soils

土壤编号 Soil No.	20~ 100 d		
	表观速率常数 Gross rate constant k(× 10^{-3} d^{-1})	相关系数 Correlation coefficient r	周转时间 Turnover time(d)
1	6.33 ±0.08	- 0.99	158 ±2
2	5.38 ±0.35	- 0.99	186 ±11
3	6.91 ±0.08	- 0.99	145 ±2
4	10.8 ±0.54	- 0.96	93 ±5
5	2.66 ±0.44	- 0.99	396 ±73

在 Highfield、Broadbalk、Hoosfield 的 3 个土壤(1.5~ 1.9 a) 与 Jenkinson 等[5] 采用模型预测的土壤微生物生物量碳周转时间(1.5~ 1.7 a) 基本一致。本研究结果不仅更能反映利用方式对土壤微生物生物量碳周转的影响, 而且充分反映了土壤质地的影响。例如, 砂壤土(4 号土) 的微生物生物量碳周转时间不到 1 年, 而轻粘土(5 号土) 则达 4 年以上。

表 4　田间条件下土壤微生物生物量碳的周转时间和速率及其与年输入新鲜有机碳量和土壤有机质的关系

Table 4　The turnover time and the rate of biomass C under the field conditions and their relationship with the amounts of annual fresh C inputs and organic matter in the soils

土壤编号 Soil No.	有机碳[1] Orgnic C (C t hm^{-2})	年输入新鲜碳量[2] Annual fresh C inputs (C t hm^{-2})	生物量碳 Biomass C (C t hm^{-2})	年输入新鲜碳量与生物量碳比率 Ratios of annual fresh C inputs and biaomass C	田间条件下生物量碳周转时间[3] Field turnover time of biomass C (a)	生物量碳年周转速率[4] Annual turnover rate of biomass C (%)
1	81.5	4.0	2.09	1.9	1.64	61.0
2	27.5	1.9	0.78	2.4	1.90	52.6
3	35.7	0.0	0.28	0.0	1.51	66.2
4	30.8	1.3	0.50	2.6	0.97	103.0
5	100.9	1.5	1.82	0.82	4.12	24.3

1) 0~ 23 cm 土层有机碳含量 Content of orgnic C at 0~ 23cm soil depth; 2) 数据来源于 Jenkinson 等[16] Data from Jenkinson *et al*.[16]; 3) 计算方法: 1/ (k × 3.8/365) , 式中: k 为土壤微生物生物量碳表观速率常数(d^{-1}) (表 3) , 3.8 为转换系数 Calculated as: 1/ (k × 3.8/365) , where k is the gross rate constants of biomass C(d^{-1}) (Table 3) and 3.8 is the converting factor; 4) 计算方法: (生物量碳/ 田间周转时间) / (生物量碳) , 或 1 / (田间周转时间) Calculated as: (Biomass C/ Field turnover time) / (Biomass C) , or 1 / (Field turnover time)

土壤微生物生物量碳的周转时间反映了微生物的活性, 将周转时间换算为土壤微生物生物碳的年周转速率更清楚地说明这一点。例如, 本研究采用的砂壤土(4 号土) 和轻粘土(5 号土) 的新鲜有机碳的年输入量基本接近(C 1.3 和 1.5 t hm^{-2}) , 但轻粘土的微生物生物量碳保有量是砂壤土的 3.6 倍。两者之间在土壤微生物生物量碳周转时间的差别(4 倍以上) 对于解释这一现象提供充分依据。砂壤土的微生物生物量碳的年周转率达 103% , 因此需要消耗 2.6 倍于微生物生物量碳保有量的新鲜有机碳的年输入。相反, 轻粘土的微生物生物量碳的年周转速率仅为 24% , 从而仅需 0.82 倍于的新鲜有机碳年输入来维持高的微生物生物量碳保有量。草地和小麦连作的轻壤土的微生物生物量碳的年周转速率相当比较接近, 因而新鲜有机碳年输入量与微生物生物量碳保有量的比例亦差异不大。休闲土壤没有新鲜有机碳年输入, 其微生物生物量碳的周转仅靠消耗原有的土壤有机质, 因此其保有量很小(C 0.28 t hm^{-2}) 。

土壤微生物生物量碳的周转时间也能够反映土壤之间在有机碳周转和积累机理上的差异。草地和小麦连作的轻壤土的微生物生物量碳的周转速率比较接近, 因而其有机质积累主要取决于新鲜有机碳的年输入量。由于轻粘土(5 号土) 中微生物生物量

碳的年周转速率低(24%),使土壤积累大量的有机质(约 C 100 t hm^{-2})(表4)。尽管砂壤土(4号土)的新鲜有机碳的年输入量比轻粘土仅少 15%,但由于前者的微生物生物量的年周转速率很高(103%),其有机质积累量(C 30.8 t hm^{-2})仅为轻粘土的 30%左右。

4 结 论

本研究建立方法(^{14}C 标记葡萄糖标记土壤微生物生物量碳,在培养 100 d 期间每 20 d 间隔测定^{14}C-B_C)能较精确地测定土壤微生物生物量碳的表观周转时间。土壤微生物生物量碳的周转时间很好地反映了土壤微生物生物量周转状况及其与土壤有机质周转与积累的关系。

参 考 文 献

[1] Jenkinson D S, Ladd J N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. *In*: Paul E A, Ladd J N. eds. Soil Biochemistry. Vol. 5. Dekker, New York, 1981. 415~471

[2] Stevenson F J. Carbon balance of the soil and role of organic matter in soil fertility. *In*: Stevenson F J. ed. Cycles of Soil. Wiley, New York, 1986. 54~77

[3] Brookes P C, Wu J, Ocio J A. Soil microbial biomass dynamics following the addition of cereal straw and other substrate to soil. *In*: Firbank L G, Carter N, Barbyshire J F, *et al*. eds. The Ecology of Temperate Cereal Fields., Oxford, Blackwell Sci. Pub., 1991. 95~111

[4] Powlson D S, Brookes P C, Chirstensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biol. Biolchem., 1987, 19:159~164

[5] Jenkinson D S, Parry L N. The nitrogen cycle in Broadbalk wheat experiment: A model for the turnover of nitrogen through the microbial biomass. Soil Biol. Biochem., 1989, 21: 535~541

[6] McGill W B, Cannon K R, Robertson J A, *et al*. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years cropping to two rotations. Can. J. Soil Sci., 1986, 66: 1~19

[7] Chaussod R, Houot S, Guiraud G, *et al*. Size and turnover of the microbial biomass in agricultural soils: Laboratory and field measurements. *In*: Jenkinson D S, Smith K A. eds. Nitrogen Efficiency in Agricultural Soil. Elsevier, London, 1988. 312~328

[8] Kouno K, Wu J, Brookes P C. Turnover of biomass C and P in soil following incorporation of glucose or ryegrass. Soil Biol. Biochem., 2002, 34: 617~622

[9] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, *et al*. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction-An automated procedure. Soil Biol. Biochem., 1990, 22: 1 167~1 169

[10] Wu J, Brookes P C, Jenkinson D S. Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil. Soil Biol. Biochem., 1993, 25: 1 435~1 441

[11] Kalembasa S J, Jenkinson D S. A comparative study of titrimetric and gravimetric methods for the determination of organic carbon in soil. J. Sci. Fd. Agric., 1973, 24: 1 095~1 099

[12] Bremmer J M. Total nitrogen. *In*: Black C A. ed. Methods of Soil Analysis. Vol. 2. American Society of Agronomy, Madison, 1965. 1 149~1 178

[13] Gregorich E D, Voroney R P, Kachanoski R G. Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different textures. Soil Biol. Biochem., 1991, 23: 799~805

[14] Bremmer E, Van Kessel C. Extractability of microbial C and N following addition of variable rates of labelled glucose and $(NH_4)_2SO_4$ to soil. Soil Biol. Biochem., 1990, 22: 707~713

[15] Jenkinson D S. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. *In*: Wilson J R. ed. Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystem. C. A. B. International, Wallinggford, 1988. 361~368

[16] Jenkinson D S, Hart P B S, Rayner J H, *et al*. Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted. *In*: Cooley J H. ed. Soil Organic Matter Dynamics and Soil Productivity. INTECOL Bulletin, 1987, 15: 1~8

MEASURING THE GROSS TURNOVER TIME OF SOIL MICROBIAL BIOMASS C UNDER INCUBATION

Wu Jinshui　Xiao Heai

(The Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha　410125, China)

Abstract　The turnover of the microbial biomass plays key roles in the cycling of organic matter and nutrients in soil. Although the microbial biomass-C is generally accounted for only 1% ~ 4% of total soil organic, the balance between the rate of microbial processes determines the turnover and consequently the accumulation of soil organic matter and nutrients (e.g. N, P and S). In this study, the procedure for measuring the turnover time of soil microbial biomass-C has been developed. ^{14}C-labelled glucose was used to label the biomass-C by incubating soils at 25 ℃ and 100% humidity. The labelled biomass-C, total biomass-C, and extractable-C were measured by every 20 days during a 100-day incubation period, using the fumigation-extraction method. Data obtained were then used to calculate the turnover rate constant of biomass-C, and hence its turnover time.

Under the incubation conditions, the turnover time of biomass-C, calculated from the gross turnover rate constant of labelled biomass-C, varied between 93 and 400 days. This is equivalent, by extrapolation, to 1.0~ 4.1 years under the field conditions where soils were from. It was demonstrated that the turnover time of soil biomass-C was largely affected by soil texture but little by management. Measuring the turnover times of soil biomass-C provides a good indication of microbial activities in relating to the turnover and accumulation of soil organic matter.

Key words　Soil microbial biomass C; Gross turnover time; ^{14}C-label