

土壤微生物量碳周转分析方法及其影响因素*

周脚根 黄道友**

(中国科学院亚热带农业生态研究所 长沙 410125)

摘要 简述了目前国内外常用的3种测定土壤微生物生物量C周转分析方法及其影响因素、改进的土壤微生物生物量C周转动力学测定方法及其应用前景,并分析了国内外不同生态环境、土壤质地和耕作管理制度等的土壤微生物生物量C周转的研究结果。

关键词 土壤微生物生物量C 周转 分析方法 影响因素

Research methods of soil microbial biomass carbon turnover and its influencing factors ZHOU Jiao-Gen, HUANG Dao-You(Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China), *CJEA*, 2006, 14(2): 131 ~ 134

Abstract Three common methods of determining the soil microbial biomass carbon turnover and its influencing factors, and the modified method of determining the soil microbial biomass carbon turnover and its promising application are stated in this paper, and the research results of the soil microbial biomass carbon turnover are analyzed under different ecological environments, soil textures and soil managements and so on.

Key words Soil microbial biomass C, Turnover, Determination methods, Influencing factors

(Received Dec .19, 2004; revised Jan .29, 2005)

土壤微生物生物量及其周转对植物有效养分起着“库”和“源”的作用,对土壤有机质和主要养分(如 N、P、S 等)的植物有效性及其在陆地生态系统中的循环有着深刻影响^[1,2,7~10]。土壤微生物生物量完成其自身所有物质更新所需时间称之为土壤微生物的周转期,单位时间内土壤微生物更新其自身物质的数量称为周转速率,二者是反映土壤微生物同化-矿化活性的重要指标,对了解土壤养分供应潜力和植物养分的有效性有非常重要意义^[1~3,9]。本研究探讨了土壤微生物生物量C周转分析测定方法及其影响因素,以明确土壤微生物生物量及其在养分循环和环境质量评价中的作用。

1 土壤微生物生物量周转分析方法

1.1 土壤微生物生物量C周转分析方法

目前国内外测定土壤微生物生物量C周转主要分析方法有微生物生物量季节性变化、底物利用率以及第一动力学方程+同位素底物标记等3种。McGill W 等^[11]主张田间试验采用不同管理措施下土壤微生物生物量季节性变化估测土壤微生物生物量C的周转,该方法曾用于估测森林、耕地等土壤微生物生物量C的周转速率^[12]。但应用该方法时必须先假定2个前提条件,即一是在不同环境条件作用下,土壤微生物生物量的变化需出现较大的季节性波动;二是土壤微生物在有利的环境条件下同时生长,而在不利的环境条件下同时死亡,即土壤微生物生长变化状况随环境条件的改变基本一致,这显然与实际情况存在较大差异,因而限制了它的应用。同时土壤微生物生物量季节性波动受种植制度、施肥方式和土壤性质等因素的影响极大,因而对其周转速率的影响亦大^[13,14]。还有研究表明用该方法估测微生物生物量C周转速率受取样数的影响较大(周转速率随样本数的增加而增大)^[15]。故用 McGill W 方法估测土壤微生物生物量C的周转存在较多缺陷。

土壤微生物生物量C始终处于不断循环与更新状态,吸收的外源C一部分用来更新微生物的细胞成分,另一部分被氧化用来获取微生物生长所需的能源。预先对加入土壤中的外源C底物进行¹⁴C标记,研究

* 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX3-SW-426)、国家重点基础研究(973)发展规划项目(2002CB412503)和国家自然科学基金重点项目(40235057)资助

** 通讯作者

收稿日期:2004-12-19 改回日期:2005-01-29

土壤培养过程中底物¹⁴C 标记的转化情况可了解土壤微生物生物量 C 的周转状况。据此, Joergensen R .G .等^[16] 提出用底物利用率方法估测土壤微生物生物量 C 的周转速率(下称 Joergensen R .G .法), 其计算式为:

$$R = \frac{CO_2 - C}{C_{mb}} \times \dots \quad (1)$$

式中, R 为土壤微生物生物量 C 的周转速率, $CO_2 - C$ 为 CO_2 年释放速率($kg\ hm^2$), C_{mb} 为土壤微生物生物量 C 年平均值($kg\ hm^2$), \dots 系底物转化为土壤微生物生物量 C 的数量, \dots 为底物矿化为 CO_2 的数量。利用 Joergensen R .G .法估测微生物生物量 C 的周转速率, 其关键问题是如何确定底物转化过程中 \dots 值以及剩余底物的去向。研究表明 \dots 值受底物的种类与投入量以及土壤性质、温度和微生物群体组成的影响甚大^[16,17]。

土壤微生物生物量 C 的降解遵循第一动力学方程^[7]。土壤微生物生物量 C 的周转时间可认定为更新所有微生物生物量 C 所需的理论时间。假设 $t=0$ 时, 土壤微生物生物量 C 为 Y_0 , 经过 1 个时期(t) 分解后, 则土壤微生物生物量 C(Y_t) 为:

$$Y_t = Y_0 \times e^{-kt} \quad (2)$$

式中, K 为土壤微生物生物量 C 分解速率常数。在 t 时间时, 土壤微生物生物量 C 的分解速率(R_t) 为:

$$R_t = -\frac{dY_t}{dt} = -k \times Y_t \quad (3)$$

达到稳定状态时, 土壤微生物生物量 C 分解和合成速率相等, 周转时间(T) 可表示为:

$$T = \frac{Y_t}{R_t} \quad (4)$$

把方程直接应用到自然土壤中其存在的关键问题是如何区分原有微生物生物量 C 与新合成的微生物生物量 C。Chaussod R .等^[18] 按照第一动力学方程, 采用¹⁴C 标记底物进行培养, 以熏蒸提取测定¹⁴C 标记的微生物生物量 C 的减少来估测其周转时间, 并取得较好的预期效果(下称 Chaussod R .法), 这是土壤微生物生物量 C 的周转期测定方法重大突破, 但依然存在两大缺陷^[19]: 一是¹⁴C 标记的微生物生物量的减少不能直接预测微生物生物量 C 的周转, 二是有机底物的加入影响微生物生物量 C 的周转速率, 尤其是加入有机底物初期的影响更大。

吴金水(1990) 对 Chaussod R .法进行了大量改进, 探讨并有效解决了第一动力学方程和¹⁴C 标记底物相结合研究微生物生物量 C 周转面临的 3 个主要问题(下称土壤微生物生物量 C 周转的动力学方程), 一是周转速率估测时间的确定, 在葡萄糖加入土壤后 2~3d 内土壤微生物生物量 C 和¹⁴C 标记的微生物生物量迅速增加, 且随加入的葡萄糖被利用完后迅速下降, 经过培养 20d 后微生物生物量 C 周转基本稳定(培养开始 2~3d 微生物生物量 C 迅速合成和以后迅速降解的效应消失)。微生物生物量 C 的周转可用新合成的微生物¹⁴C 的降解速率表示(即微生物¹⁴C 的衰减也遵循第一动力学方程), 培养后第 20d 可作为动力学方程估测的开始时间。对方程(2)和(3)的参数及变量重新定义, Y_0 为¹⁴C 标记的微生物生物量 C 的初始含量, Y_t 为培养 t 时间后¹⁴C 标记的微生物 C 含量, K 为¹⁴C 标记的微生物生物量 C 的衰减速率常数。二是微生物生物量 C 周转速率和周转期的估测, 根据定义, Y_t 为培养 t 时间后¹⁴C 标记的微生物 C 含量, 必须排除 t 时间内新合成的微生物¹⁴C 量, 而实验测得的 Y_t 包含了新合成的微生物¹⁴C 量。因此 K 不是真正意义上的衰减速率常数, 必须对其进行矫正, 可通过拟合方程(2)计算出不同时段内合成的微生物¹⁴C 量, 再求出 K 。三是底物的残余效应, 培养 20d 后土壤微生物生物量 C 的周转虽处于相对稳定状态, 但受底物残余效应的影响, 微生物生物量 C 的降解仍快于未加底物的对照, 必须将在有底物条件下求得的分解常数 K 校正为未加底物条件下的速率常数(K_u), K_u 可通过下式求得:

$$P = e^{-k_u t} - e^{-kt} \quad (5)$$

式中, P 为 t 时间内加入底物的土壤微生物生物量 C 下降幅度与对照差值。目前土壤微生物生物量 C 的周转动力学方程(吴金水) 已被应用于国内外一些重大项目的研究中, 并有望应用于土壤微生物生物量 N、P 等的周转研究。

1.2 土壤微生物生物量 N、P 周转分析方法

关于土壤微生物生物量 N、P 周转的研究目前尚少见报道。与微生物生物量 C 不同, 微生物生物量 N、P 可作为养分被微生物重复利用。如何分析与估算这种重复利用的程度, 至今尚无完满的解决方法^[20]。加

之³²P或³³P放射性强也限制了有关微生物 P 的周转研究。高云超等^[4]研究提出先测出微生物生物量 C 的周转期,再利用土壤微生物 C/N 值和 C/P 值的平均值估算微生物生物量 N、P 的周转期^[4],这种间接方法严重影响了测定结果的准确性,因为土壤微生物 C/N 值、C/P 值受施肥方式^[21]和土壤类型^[22]等因素的影响极大。姚槐应等^[5]参照土壤微生物生物量 C 周转动力学测定方法利用¹⁵N 标记硫酸铵测定了我国红壤微生物 N 的周转期,Kouno K.^[20]参照土壤微生物生物量 C 周转动力学测定方法采用³²P 标记 KH₂PO₄ 测定了英国耕地土壤微生物 P 的周转期,均得到较为满意结果,这进一步说明吴金水(1990)改进后的土壤微生物生物量 C 周转动力学方程有望用于土壤微生物 N、P 的周转分析与研究。

2 土壤微生物生物量 C(N、P)的周转期及其影响因素

不同生态环境条件下土壤微生物生物量 C 的周转期差异甚大,如热带森林的为 0.14 年,温带森林的为 0.60 年,北部森林的为 0.82 年;热带稀疏草原的为 0.34 年,温带草原的为 0.64 年^[8]。Jenkinson D. S. 等^[19]用计算机模型估测得出英国洛桑实验站长期未施肥小区土壤微生物 N 的周转期为 1.5 年,且与土壤微生物生物量 C 的周转期一致。McGill W.^[11]根据土壤微生物生物量 C 的周年自然波动估测得出土壤微生物生物量 C 的周转期为 0.2~3.9 年。Kouno K. 等^[20]采用¹⁴C 标记得出英国耕地土壤微生物生物量 C 的周转期为 0.24 年,P 为 0.12 年。Markus Raubuch 等^[23]参照 Joergensen R. G. 法估测得出德国森林土壤微生物生物量 C 的周转期为 0.37 年。受温度影响室内微生物生物量的周转期大大短于田间,Chaussod R. 等^[18]应用¹⁴C 标记测得的土壤微生物生物量 C 的周转期实验室内(28℃)为 0.39~0.49 年,自然条件下则为 0.4~1.8 年。吴金水等(1990)应用土壤微生物生物量 C 周转动力学测定方法测得的英国土壤微生物生物量 C 的周转期实验室内(25℃)为 126~383d,相当于自然条件下(年均气温 9.3℃)的 1.3~4.0 年。为有效解决室内测定值与田间实际值的差异,经过大量实验与验证,将室内测定值乘以某一常数(一般为 3.81)即可转换为田间实际值^[19]。土壤质地对微生物生物量的周转影响也较大,英国不同质地土壤微生物生物量 C 的周转期为粘土>壤土>砂土。微生物生物量周转期与粘土含量关系密切,砂质土壤的周转期短于粘土,因为砂质土壤有机质易被微生物分解,有利于养分快速释放,而粘粒土壤更有利于养分固持。陈国潮等^[6]采用¹⁴C 标记测得的 3 种不同质地(菜园红砂土、橘园黄筋泥、茶籽园黄筋泥)红壤微生物生物量 C 的周转期分别为 0.84 年、1.45 年和 1.77 年,而土壤微生物 N^[5]的周转期分别为 0.17 年、0.24 年及 0.69 年,这与吴金水等研究结果一致。耕作管理也影响土壤微生物生物量的周转,相同土质条件下施用农家肥或种植牧草的土壤微生物生物量 C 的周转期增长^[2]。正常翻耕表层土壤(0~15cm)微生物生物量 C 的周转期为 0.85 年,而秸秆覆盖免耕和无覆盖直播条件下 0~7.5cm 表土相应值分别为 1.52 年及 1.35 年。

参 考 文 献

- 1 何振立.土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义.土壤,1997,21(2):61~69
- 2 黄敏,肖和艾,童成立等.稻田土壤微生物磷变化对土壤有机碳和磷素的响应.中国农业科学,2004,37(3):66~69
- 3 殷士学.土壤微生物量及其养分循环的研究进展.土壤学报,1993,21(4):1~8
- 4 高云超,朱文珊,陈文新.土壤微生物量周转的估算.生态学杂志,1993,12(6):6~10
- 5 姚槐应,何振立,黄昌勇.红壤微生物氮的周转期及其研究意义.土壤学报,1999,36(3):388~393
- 6 陈国潮,何振立,黄昌勇.红壤微生物量 C 周转及其研究.土壤学报,2002,39(2):153~159
- 7 Jenkinson D. S., Ladd J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover in Paul. Soil Biochemistry, 1981, 5: 415~471
- 8 Singh J. S., Raghubanshi A. S., Singh R. S., et al. Microbial biomass acts a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. Nature, 1989, 338: 499~500
- 9 Smith J. L., Paul E. A. The significance of soil microbial biomass estimated. Soil Biochemistry. New York: Marcel Dekker, 1991. 359~396
- 10 Srivastava S. C., Singh J. S. Microbial C, N and P in dry tropical soils: Effects of alternate land-uses and nutrient flux. Soil Biology & Biochemistry, 1991, 23(2): 117~124
- 11 McGill W., Cannon K., Robertson J., et al. Dynamics of soil microbial biomass and water soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. Canadian Journal of Soil Science, 1986, 66: 1~19
- 12 Diaz Ravina M., Acaé M. J., Carballas T. Seasonal changes in microbial biomass and nutrient flush in forest soils. Biology and Fertility of Soils, 1995, 19: 220~226
- 13 Franzluebbers A. J., Hons F. M., Zuberer D. A. Seasonal dynamics of active soil carbon and nitrogen pools under intensive cropping in conventional and no tillage. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 1996, 159: 343~435
- 14 Kleber M., Jian Ping H., Stahr K. Microbial biomass C- and N- dynamics in grassland soils amended with liquid mature. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 1998, 161: 87~92

- 15 Harden T , Joergensen R .G .Relationship between simulated spatial variability and some estimates of microbial biomass turnover .Soil Biology and Biochemistry, 2000 , 32 : 139 ~ 142
- 16 Joergensen R .G , Meyer B , Mueller T .Time-course of the soil microbial biomass under wheat: one year field study .Soil Biology & Biochemistry, 1994, 26: 987 ~ 994
- 17 Kassim M , Martin J .P , Haider K .Incorporation of wide variety of organic substrate carbon into soil biomass as estimated by the fumigation procedure .Soil Science Society of American Journal, 1981, 45: 1106 ~ 1112
- 18 Chaussod R , Houot S , Guiraud D , *et al* . Size and turnover of the microbial biomass in agricultural soil: laboratory and field measurement . Nitrogen Efficiency in Agricultural Soil . Amsterdam: Elsevier Applied Science, 1988 .312 ~ 326
- 19 Jenkinson D S , Hart P .B S , Payner J .H , *et al* .Modeling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted . Soil Organic Matter Dynamic and Productivity, 1987, 15: 1 ~ 8
- 20 Kouno K , Wu J . S , Brookes P .C .Turnover of biomass C and P in soil following incorporation of glucose or ryegrass .Soil Biology & Biochemistry, 2002 , 34 : 617 ~ 622
- 21 He Z .L , Wu J . S , O 'Donell A .G .Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soils under pasture .Biol . Fertil Soils, 1997, 24: 421 ~ 428
- 22 Md .Akhter Hossain Chowdhury , Kenji Kouno , Tadao Ando .Correlation among microbial biomass S, soil properties and other biomass nutrients . Soil Sci . Plant Nutri , 1999, 45(1): 175 ~ 186
- 23 Markus Raubuch , Rainer Geor Jeorgensen .C and net N mineralization in a coniferous forest soil: the contribution of the temporal variability of microbial biomass C and N .Soil Biology & Biochemistry, 2002 , 34 : 841 ~ 849