

利用 ^{13}C 方法研究添加玉米秸秆下红壤总有机碳和重组有机碳的分解速率*

尹云峰^{1,2} 蔡祖聪^{1†}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 福建师范大学地理科学学院亚热带资源与环境省重点实验室, 福州 350007)

摘要 土壤有机碳分解速率是研究土壤碳动态变化的基础。本文利用 ^{13}C 自然丰度方法和同位素质谱分析技术,通过室内培育实验研究了红壤总有机碳和重组有机碳的分解速率,培养时间为180 d,培养温度为30℃。结果表明:在5%和10%秸秆用量下,红壤总有机碳的分解速率常数为 $8.2 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1} \sim 22.0 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$,而重组有机碳的分解速率常数为 $4.0 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1} \sim 15.6 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ 。施用玉米秸秆明显地促进了红壤原有的总有机碳和重组有机碳的分解,施用量越多,原有机碳分解的越快,表明土壤中原有机碳的分解速率与进入到土壤中的新鲜有机碳量有关。

关键词 ^{13}C ;红壤;有机碳;分解速率

中图分类号 S153 文献标识码 A

土壤碳是全球碳循环的重要环节,在全球气候变化中扮演着重要的角色^[1~3]。而土壤有机碳(SOC)分解速率是研究土壤碳动态和平衡的基础,是土壤碳输出的重要参数^[4~6]。不同的地区因气候因子及土壤类型的差异,土壤有机碳的分解速率也不相同,但模型中的分解速率往往是固定的常数,这经常限制了模型的广泛应用^[7]。因此,了解不同地区土壤有机碳的分解速率对于碳周转模型的建立和校正具有重要意义。 ^{13}C 方法是用于土壤有机碳动态研究的一种新方法,该法除具有 ^{14}C 示踪法的优点外,还具有标记均匀、无放射性、可长期标记等优点^[8~12]。利用 ^{13}C 方法,不仅能研究土壤总有机碳的更新与周转,也可研究不同颗粒大小或不同密度组分有机碳的周转^[13~17]。但以往 ^{13}C 方法多用于研究长期试验条件下的土壤有机碳周转^[14~20],短期培养条件用来研究土壤有机碳分解速率的报道还不多见^[21,22]。窦森等通过室内培养实验,采用 ^{13}C 方法研究了玉米秸秆分解期间土壤中胡敏酸和富里酸的动态变化,表明用 ^{13}C 方法研究短期培养条件的有机碳周转是可行的^[23]。目前,国内利用 ^{13}C 方法开展土壤有机碳及重组有机碳分解速率的研究还

鲜见报道。本实验旨在探索 ^{13}C 方法在培养条件下研究土壤有机碳和重组有机碳分解速率的可行性,其结果将为农田土壤有机碳动态变化与平衡的研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试土壤 土壤样品取自中国科学院鹰潭农业生态试验站长期定位施肥试验地内(28°15'N, 116°55'E)。该区年平均降水量1795 mm,年蒸发量1318 mm,年平均气温为17.6℃,无霜期在262 d左右,属中亚热带湿润季风气候区。土壤为第四纪红黏土发育而成的红壤,试验初土壤肥力水平很低。施肥处理的定位试验起始于1990年,采用一年两熟水稻轮作方式,小区面积33 m²。试验共设5个处理,分别为:(1) CK; (2) NP; (3) NK; (4) PK; (5) NPK, 4次重复。在本实验中,选择CK和NPK处理的土壤样品进行培养,样品编号分别为R-CK和R-NPK。采样时间为2003年3月。土壤理化性质见表1。

* 国家重点基础研究发展规划项目(2005CB121101)和中国博士后科学基金(20060400735)资助

† 通讯作者: E-mail: zccai@mail.issas.ac.cn, Tel: 025-86881021

作者简介: 尹云峰(1975~),男,黑龙江人,讲师,博士,主要从事农业土壤碳平衡研究

收稿日期: 2006-08-01; 收到修改稿日期: 2007-04-27

表1 供试土壤基本性质

Table 1 Basic properties of studied soils

编号 No.	土壤有机碳 SOC (g kg^{-1})	全氮 Total N (g kg^{-1})	碳氮比 C/N	pH (H_2O)	土壤持水量 Water holding capacity (g kg^{-1})	黏粒 Clay <2 μm (g kg^{-1})	粉粒 Silt 2~20 μm (g kg^{-1})
R-CK	5.44	0.62	8.77	5.77	615	255	415
R-NPK	8.02	0.82	9.78	5.38	626	255	415

1.1.2 植物物料 本实验所用植物物料为玉米秸秆,为典型的 C_4 作物。收获后的玉米秸秆于 50 烘干,粉碎过 20 目筛备用。玉米秸秆有机碳含量为 441.0 g kg^{-1} ,有机碳的 ^{13}C 值为 -12.6% ,全氮含量为 10.1 g kg^{-1} ,C/N 比为 43.7。

1.2 研究方法

1.2.1 培养方法 本实验采用 2 个培养土样,每个培养土样根据玉米秸秆加入量的不同设 3 个水平,分别为 0% (不加秸秆;对照)、5% 和 10% 秸秆处理(为烘干土的质量百分数)。实验共计 6 个处理,3 次重复。具体操作如下:称取相当于 50.00 g 烘干土重的风干土样(过 2 mm)与不同用量的秸秆充分混匀后装入塑料杯中,补加蒸馏水至土壤持水量(WHC)的 50%,用可透气的塑料薄膜封口,置于 30 ± 2 培养箱中进行培养,每隔 48 h 称重补加水分。培养 180d 后取出培养样品并放入 50 烘箱中,以抑制微生物的生长,72 h 后取出烘干样,全部磨碎过 1 mm 筛,混匀。利用四分法从中取出一份过 0.25 mm 筛,全部土样放入样品袋中备用。

1.2.2 分析方法 土壤和玉米秸秆有机碳含量与全氮含量用元素分析仪(Vario Macro CNS,Elementar)测定;土壤和玉米秸秆有机碳的 ^{13}C 值用同位素质谱仪(Finnigan MAT251, Thermo Electron)测定。重组有机碳分离采用相对密度分组方法^[24];土壤持水量(WHC)测定参照文献[25];pH 利用 pH 计(CHN868, Thermo Orion)测定,水土比为 2.5:1;土壤颗粒组成利用激光粒度分析仪(Laser 230, Beckman Coulter)测定。

1.2.3 计算方法 计算方法参照文献[9, 10, 23]。在本实验中,培养结束时土壤总有机碳(或重组有机碳)总量中来源于玉米秸秆碳的比例为:

$$f\% = (C_4 - C_3) / (C_4 - C_3) \times 100 \quad (1)$$

式中, C_4 为培养结束时的土壤总有机碳(或重组有机碳)的 ^{13}C 值; C_3 为加入秸秆之前土壤总有机碳(或重组有机碳)的 ^{13}C 值; C_4 为玉米秸秆碳的

^{13}C 值。若土壤总有机碳(或重组有机碳)总量 C 已知,那么来自新进入的玉米秸秆碳 C_{4t} 和土壤中原有的总有机碳 C_{3t} (或原有的重组有机碳)分别为:

$$C_{4t} = fC \quad (2)$$

$$C_{3t} = (1 - f)C \quad (3)$$

土壤中原有的有机碳分解符合指数方程:

$$C_{3t} = C_{30} e^{-kt} \quad (4)$$

式中, C_{3t} 为培养结束时由式(3)计算得到的土壤中原有的总有机碳或原有的重组有机碳含量(g kg^{-1}); C_{30} 为实验初的土壤总有机碳或重组有机碳含量(g kg^{-1}); t 为培养时间(180d)。因此根据式(4)可以计算出土壤总有机碳或重组有机碳的分解速率常数 $k(\text{d}^{-1})$, 而半衰期则由下面的公式算出:

$$T_{1/2} = 0.693 / k \quad (5)$$

2 结果与分析

2.1 红壤总有机碳含量及 ^{13}C 值

培养 180d 时红壤总有机碳和 ^{13}C 值以及不同植物来源的有机碳量见表 2。对于 CK 处理的土样,5% 和 10% 秸秆用量的土壤有机碳总量分别为 18.13 g kg^{-1} 和 28.36 g kg^{-1} , ^{13}C 值分别为 -15.36% 和 -14.00% ;而对于 NPK 处理的土样,5% 和 10% 秸秆用量的土壤有机碳总量分别为 19.07 g kg^{-1} 和 27.95 g kg^{-1} , ^{13}C 值分别为 -16.94% 和 -15.36% 。方差分析结果表明,施入秸秆显著提高了红壤总有机碳量和 ^{13}C 值,并且施入量越高,这种变化越明显。在 5% 和 10% 秸秆用量下,红壤总有机碳中来自玉米秸秆碳量为 $12.48 \sim 25.02 \text{ g kg}^{-1}$,而原有的有机碳仅为 $3.34 \sim 6.59 \text{ g kg}^{-1}$,这说明红壤总有机碳以新加入的玉米秸秆碳为主,玉米秸秆碳在总有机碳中的比例高达 $65.4\% \sim 88.2\%$ 。随着玉米秸秆用量的增加,土壤中原有的总有机碳量减少,表明秸秆加入促进了红壤原有的有机碳分解(表 2)。

表2 红壤总有机碳 ^{13}C 值及不同植物来源的有机碳量Table 2 ^{13}C values and C_{4t} and C_{3t} of SOC in red soils

编号 No.	处理 Treatment	土壤有机碳 SOC (g kg^{-1})	丰度值 ^{13}C value (‰)	f (%)	$1 - f$ (%)	C_{4t} (g kg^{-1})	C_{3t} (g kg^{-1})
R - CK	0 %	5.17 \pm 0.03 d	- 24.47 \pm 0.06 b	0.0	100.0	0.00 e	5.17 \pm 0.03 d
	5 %	18.13 \pm 0.27 b	- 15.36 \pm 0.05d	76.7	23.3	13.92 \pm 0.29 c	4.22 \pm 0.03 e
	10 %	28.36 \pm 0.75 a	- 14.00 \pm 0.14 e	88.2	11.8	25.02 \pm 1.00a	3.34 \pm 0.25 f
R - NPK	0 %	7.45 \pm 0.09 c	- 25.16 \pm 0.06 a	0.0	100.0	0.00 e	7.45 \pm 0.09 a
	5 %	19.07 \pm 0.38 b	- 16.94 \pm 0.08 c	65.4	34.6	12.48 \pm 0.21 d	6.59 \pm 0.23 b
	10 %	27.95 \pm 0.99 a	- 15.36 \pm 0.11d	78.1	21.9	21.82 \pm 1.01 b	6.13 \pm 0.05 c

注:同一列中标有不同字母的数据间差异达到显著水平 $p < 0.05$ level
Note: Different letters within a column indicate significant difference at $p < 0.05$ level

2.2 红壤重组有机碳含量及 ^{13}C 值

培养 180d 时红壤重组有机碳和 ^{13}C 值及不同植物来源的有机碳量见表 3。玉米秸秆的加入显著提高了红壤重组有机碳总量和 ^{13}C 值。随着秸秆加入量的增加,红壤中来自玉米秸秆碳的比例和有机碳量均有所提高,但红壤中原有的重组有机碳却有所降

低,这说明秸秆的加入也促进了原有的重组有机碳分解,加入量越多,原有的重组有机碳下降的也就越多。在 5%和 10%秸秆用量下,红壤重组有机碳中来自玉米秸秆的碳的比例为 51.3%~78.0%,而来自原有的重组有机碳比例仅为 22.0%~48.7%,表明红壤中的重组有机碳依然以新加入的玉米秸秆碳为主。

表3 红壤重组有机碳 ^{13}C 值及不同植物来源的有机碳量Table 3 ^{13}C values and C_{4t} and C_{3t} of SOC in the heavy fractions of red soils

编号 No.	处理 Treatment	重组有机碳 HFOC (g kg^{-1})	丰度值 ^{13}C value (‰)	f (%)	$1 - f$ (%)	C_{4t} (g kg^{-1})	C_{3t} (g kg^{-1})
R - CK	0 %	4.63 \pm 0.07 d	- 23.22 \pm 0.05 b	0.0	100.0	0.00 d	4.63 \pm 0.07 c
	5 %	10.70 \pm 0.50 b	- 16.81 \pm 0.18 d	60.3	39.7	6.46 \pm 0.49 c	4.24 \pm 0.03 d
	10 %	15.68 \pm 0.33 a	- 14.94 \pm 0.13 f	78.0	22.0	12.23 \pm 0.44a	3.45 \pm 0.12 e
R - NPK	0 %	6.01 \pm 0.03 c	- 24.14 \pm 0.08 a	0.0	100.0	0.00 d	6.01 \pm 0.03 a
	5 %	11.37 \pm 0.30 b	- 18.34 \pm 0.10 c	51.3	48.7	5.83 \pm 0.06 c	5.54 \pm 0.24b
	10 %	14.91 \pm 0.84 a	- 16.15 \pm 0.08 e	69.9	30.1	10.42 \pm 0.52 b	4.48 \pm 0.33 cd

注:同一列中标有不同字母的数据间差异达到显著水平 $p < 0.05$ level
Note: Different letters within a column indicate significant difference at $p < 0.05$ level

2.3 红壤总有机碳及重组有机碳的分解速率

红壤原有的总有机碳和重组有机碳的分解速率和半衰期见表 4。对于 CK 处理的红壤,在 5%和 10%秸秆用量情况下,红壤总有机碳的分解速率常数分别为 $11.4 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ 和 $22.0 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$,半衰期为 605 d 和 315 d,而重组有机碳的分解速率常数要较总有机碳的小,分别为 $6.6 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ 和 $15.6 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$,半衰期为 1 042 d 和 445 d。对于 NPK 处理的红壤,在 5%和 10%秸秆用量情况下,红壤总有机

碳的分解速率常数分别为 $8.2 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ 和 $9.6 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$,半衰期为 842 d 和 718 d,而重组有机碳分解速率常数分别为 $4.0 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ 和 $13.3 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$,半衰期为 1 713 d 和 523 d。由表 4 可见,未加玉米秸秆时,CK 处理的土壤有机碳分解速率要较 NPK 处理的慢,但加入玉米秸秆后,CK 处理的土壤总有机碳和重组有机碳的分解速率却较 NPK 处理的快,并且对于同一土壤,10%秸秆用量的土壤总有机碳和重组有机碳的分解速率要快于 5%秸秆用量的。

表4 红壤总有机碳和重组有机碳的分解速率常数和半衰期

Table 4 Decomposition rate and half-life of SOC and HFOC in red soils

编号 No.	处理 Treatment	分解速率常数 k		半衰期	
		Decomposition rate constant k (10^{-4}d^{-1})		A half-life $T_{1/2}$ (d)	
		土壤有机碳 SOC	重组有机碳 HFOC	土壤有机碳 SOC	重组有机碳 HFOC
R - CK	0 %	2.8 \pm 0.3	-	2 475	-
	5 %	11.4 \pm 0.4	6.6 \pm 0.5	605	1 042
	10 %	22.0 \pm 4.0	15.6 \pm 2.0	315	445
R - NPK	0 %	4.1 \pm 0.6	-	1 690	-
	5 %	8.2 \pm 1.9	4.0 \pm 2.4	842	1 713
	10 %	9.6 \pm 0.5	13.3 \pm 4.0	718	523

注:数据为平均值 \pm 标准差 Note: Values are means \pm standard deviations ($n=3$)

3 讨论

土壤有机碳(SOC)分解是土壤碳循环的重要过程^[4,5,12],而分解的快慢取决于SOC的生物化学性质和存在状态以及水分、温度、pH、质地等影响微生物活性的环境因素^[6,12]。另外,土地利用方式、耕作措施、轮作制度、施肥方式和水分管理等人造因素也会影响土壤环境而间接影响有机碳的分解^[15~21]。孙波等研究了 ^{14}C 标记的黄花苜蓿在红壤中的分解规律,培养温度为28℃,培养时间为200d,发现红壤中原有机碳的分解速率常数为 $4.7 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ ^[26]。王志明等应用密闭培养法于30℃恒温条件对 ^{14}C 标记水稻秸秆在淹水红壤中 ^{14}C 与 ^{12}C 间的转化与平衡进行研究,培养时间为112d,表明红壤原有机碳分解速率常数为 $5.8 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ ^[27]。这些数据与本文利用 ^{13}C 方法获取的结果基本一致,即红壤有机碳的分解速率常数介于 $8.2 \times 10^{-4} \text{d}^{-1} \sim 22.0 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ 之间,但获取的数据偏高,其原因主要与秸秆的施用量有关, ^{14}C 标记方法加入的秸秆量较少,更接近田间情况,而本实验中秸秆的加入量偏高。另外,本实验中利用 ^{13}C 方法获取的数值明显高于常规方法的(表4),其原因在于玉米秸秆的加入促进了红壤原有机碳的分解。Broadbent和Bartholomew将标记苏丹草施入到土壤中,发现原有机碳的分解增强了10倍^[28]。本结果也表明,玉米秸秆的加入促进了红壤原有的总有机碳和重组有机碳的分解,并且秸秆的施用量越多,原有机碳分解的量也越多,有机碳分解速率也就越快(表4)。

重组有机碳是指存在于有机无机复合体中的有机碳,一般占土壤总有机碳的50%~90%,这一组

分对土壤肥力的保持以及土壤碳的固持具有重要的意义^[7,29,30]。以往的研究多将重组部分做进一步分组,通常用NaOH或NaOH+Na₄P₂O₇作为提取剂,但目前将重组作为一个整体来研究其有机碳分解速率的报道还不多见。尽管已有研究者对重组有机碳的分解做了初步研究^[7,30],但是这些研究多是利用实验分组方法,即先将土壤样品分组,然后培养分离后的重组部分,这种研究方法具有很大的局限性。由于分组过程中将会改变土壤结构和微生物种类及数量,并且分离过程中也会损失一部分水溶性碳,导致分离前和分离后的土壤条件大不相同。另外,这种培养方法也忽略了土壤中不同碳组分的相互转化过程。而采用 ^{13}C 方法可以避免这些问题,利用这一方法无需“先分离,后培养”的实验过程,只要测定培养前和培养后重组有机碳的含量和 ^{13}C 即可。通过本研究发现红壤总有机碳的分解速率要快于重组有机碳的,这与多数研究者的结论一致^[29,30],其原因主要在于重组有机碳受到了土壤矿物颗粒的保护,从而使其分解速率减慢。

^{13}C 自然丰度方法是用于土壤有机碳动态研究的一种新方法,并且正在得到越来越广泛的应用。近年来国内已采用 ^{13}C 技术研究长期田间条件下土壤有机碳的周转,但研究报道不多^[5,18],发表论文多为综述^[8,11,13]。通过本研究表明,短期培养条件利用 ^{13}C 方法研究红壤有机碳分解速率是可行的,但本实验目前也存在一定的不足,为了保证有机碳的 ^{13}C 值有较明显的变化,玉米秸秆施入量偏高,导致本方法获取的数据可能高于实际值。另外,短时间内为了加快玉米秸秆的分解和向重组的转化,实验设定的培养温度也高于当地平均气温,这也可能高估了红壤有机碳的分解速率。由于本实验是探索性

研究,今后工作则是通过室内培育实验模拟不同环境条件,在秸秆用量减少情况下利用 ^{13}C 人工标记方法对土壤有机碳及不同组分碳的分解速率进行深入研究。

参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2001
- [2] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. *Global Change Biology*, 2000, 6: 317 ~ 327
- [3] 潘根兴, 赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家粮食安全. *地球科学进展*, 2005, 20(4): 384 ~ 393. Pan G X, Zhao Q G. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: Facing the challenge of global change and food security (In Chinese). *Advances in Earth Science*, 2005, 20(4): 384 ~ 393
- [4] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云, 等. 红壤稻田土壤有机质的积累过程特征分析. *土壤学报*, 2003, 40(3): 344 ~ 352. Li Z P, Zhang T L, Chen B Y, *et al.* Soil organic matter dynamics in a cultivation chronosequence of paddy fields in subtropical China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 344 ~ 352
- [5] 陈庆强, 沈承德, 彭少麟, 等. 华南亚热带山地土壤有机质更新特征及其影响因子. *生态学报*, 2002, 22(9): 1 446 ~ 1 454. Chen Q Q, Shen C D, Peng S L, *et al.* Characteristics and controlling factors of soil organic matter turnover processes in the subtropical mountainous area, South China (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1 446 ~ 1 454
- [6] Leifeld J, Fuhrer J. The temperature response of CO_2 production from bulk soils and soil fractions is related to soil organic matter quality. *Biogeochemistry*, 2005, 75: 433 ~ 453
- [7] Whalen J K, Bottomley P J, Myrold D D. Carbon and nitrogen mineralization from light and heavy fraction additions to soil. *Soil Biol. Biochem.*, 2000, 32: 1 345 ~ 1 352
- [8] 于贵瑞, 王绍强, 陈泮勤, 等. 碳同位素技术在土壤碳循环研究中的应用. *地球科学进展*, 2005, 20(5): 568 ~ 577. Yu G R, Wang S Q, Chen P Q, *et al.* Isotope tracer approaches in soil organic carbon cycle research (In Chinese). *Advances in Earth Science*, 2005, 20(5): 568 ~ 577
- [9] Balesdent J, Mariotti A, Guillet B. Natural ^{13}C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biol. Biochem.*, 1987, 19: 25 ~ 30
- [10] Bernoux M, Cerri C C, Neill C, *et al.* The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma*, 1998, 82: 43 ~ 58
- [11] 沈其荣, 殷士学, 杨超光, 等. ^{13}C 标记技术在土壤和植物营养研究中的应用. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(1): 98 ~ 105. Shen Q R, Yin S X, Yang C G, *et al.* Application of ^{13}C labeling technique to soil science and plant nutrition (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(1): 98 ~ 105
- [12] Kuz'yakov Y. Sources of CO_2 efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biol. Biochem.*, 2006, 38: 425 ~ 448
- [13] 朱书法, 刘丛强, 陶发祥. ^{13}C 方法在土壤有机质研究中的应用. *土壤学报*, 2005, 42(3): 495 ~ 503. Zhu S F, Liu C Q, Tao F X. Use of ^{13}C method in studying soil organic matter (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3): 495 ~ 503
- [14] Balesdent J, Wagner G H, Mariotti A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1988, 52: 118 ~ 124
- [15] Bonde T A, Christensen B T, Cerri C C. Dynamics of soil organic matter as reflected by natural ^{13}C abundance in particle size fractions of forested and cultivated Oxisols. *Soil Biol. Biochem.*, 1992, 24: 275 ~ 277
- [16] Gregorich E G, Ellert B H, Drury C F, *et al.* Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, 60: 472 ~ 476
- [17] Roscoe R, Buurman P, Velthorst E J, *et al.* Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio in a Cerrado s Oxisol. *Geoderma*, 2001, 104: 185 ~ 202
- [18] 刘启明, 王世杰, 朴河春, 等. 稳定碳同位素示踪农林生态转换系统中土壤有机质的含量变化. *环境科学*, 2002, 23(3): 75 ~ 78. Liu Q M, Wang S J, Piao H C, *et al.* Soil organic matter changes of turnover ecosystems traced by stable carbon isotopes (In Chinese). *Environmental Sciences*, 2002, 23(3): 75 ~ 78
- [19] Shang C, Tiessen H. Carbon turnover and carbon-13 natural abundance in organo-mineral fractions of a tropical dry forest soil under cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2000, 64: 2 149 ~ 2 155
- [20] Gerzabek M H, Haberhauer G, Kirchmann H. Soil organic matter pools and carbon-13 natural abundances in particle-size fractions of a long-term agricultural field experiment receiving organic amendments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2001, 65: 352 ~ 358
- [21] Kristiansen S M, Brandt M, Hansen E M, *et al.* ^{13}C signature of CO_2 evolved from incubated maize residues and maize-derived sheep faeces. *Soil Biol. Biochem.*, 2004, 36: 99 ~ 105
- [22] Liang B C, Gregorich E G, MacKenzie A F. Short-term mineralization of maize residues in soils as determined by carbon-13 natural abundance. *Plant and Soil*, 1999, 208: 227 ~ 232
- [23] 窦森, 张晋京, 曹亚澄, 等. 用 ^{13}C 方法研究玉米秸秆分解期间土壤有机质数量动态变化. *土壤学报*, 2003, 40(3): 328 ~ 334. Dou S, Zhang J J, Cao Y C, *et al.* Study on dynamic change of soil organic matter during corn stalk decomposition by ^{13}C method (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 328 ~ 334
- [24] Yin Y F, Cai Z C. Equilibrium of organic matter in heavy fraction for three long-term field experimental soils in China. *Pedosphere*, 2006, 16(2): 177 ~ 184
- [25] 蔡祖聪, Mosier A R. 土壤水分状况对 CH_4 、 N_2O 和 CO_2 排放的影响. *土壤*, 1999, 31(6): 289 ~ 294. Cai Z C, Mosier A R. Effects of soil moisture on CH_4 , N_2O and CO_2 emissions (In Chinese). *Soils*, 1999, 31(6): 289 ~ 294
- [26] 孙波, 车玉萍, 林心雄. 测定土壤有机物质中 ^{12}C 和 ^{14}C 分解速率的密闭培养法. *土壤*, 1997, 29(1): 51 ~ 53. Sun B, Che Y P, Lin X X. The decomposition rate of ^{12}C and ^{14}C for organic mate-

- rials in soil using closed incubation method (In Chinese). *Soils*, 1997, 29(1): 51 ~ 53
- [27] 王志明,朱培立,黄东迈. ^{14}C 标记秸秆碳素在淹水土壤中的转化与平衡. *江苏农业学报*, 1998, 14(2): 112 ~ 117. Wang Z M, Zhu P L, Huang D M. Carbon transformation and balance of ^{14}C -labeled straw in submerged soils (In Chinese). *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 1998, 14(2): 112 ~ 117
- [28] Broadbent F E, Bartholomew W V. The effect of quantity of plant material added to soil on its rate of decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1948, 13: 271 ~ 274
- [29] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density fractions. *Australian Journal of Soil Research*, 1986, 24: 301 ~ 309
- [30] Swanston C W, Caldwell B A, Homann P S, *et al.* Carbon dynamics during a long-term incubation of separate and recombined density fractions from seven forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 2002, 34: 1 121 ~ 1 130

DECOMPOSITION RATES OF ORGANIC CARBON IN WHOLE SOIL AND HEAVY FRACTION OF RED SOIL INCORPORATED WITH MAIZE STALKS USING CARBON-13 NATURAL ABUNDANCE

Yin Yunfeng^{1,2} Cai Zucong¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Sciences, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Fujian Provincial Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment, College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract The dynamics of soil organic carbon (SOC) plays an important role in the global C cycle, while decomposition rate of SOC is essential to understanding of soil C dynamics. The objective of this study was to explore how the natural ^{13}C abundance method can be used to determine decomposition rates of organic carbon in whole soil and heavy fraction of red soils using a laboratory incubation experiment. The soil samples used in the test were collected in March 2003 from a long-term field experiment at Yingtan State Key Agro-Ecological Experimental Stations in China and incubated aerobically at 30 °C in the dark for 180 days. Organic C contents and stable C isotope ratios of the whole soil and its heavy fraction were determined with an elemental analyzer and an isotope ratio mass spectrometer. Results show that the decomposition rates of native organic carbon in the whole soil ranged from $8.2 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ to $22.0 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$, and in the heavy fraction from $4.0 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ to $15.6 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ for red soil incorporated with maize stalks. They were faster in soils incorporated with maize stalks than in soils without maize stalks, which suggests maize stalk incorporation may obviously stimulate the turnover of native organic carbon. Moreover, they were faster when the maize stalk application rate was 10% than when it was 5%, indicating that decomposition rate was related to amount of fresh organic carbon supplied by maize stalks incorporated into the soil. The findings will serve as a foundation for further studies to investigate turnover of SOC fractions using the natural ^{13}C abundance method.

Key words ^{13}C ; Red soil; Organic carbon; Decomposition rate