

# 不同类型土壤有机碳分解速率的比较\*

尹云锋<sup>1,2</sup> 蔡祖聪<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室,南京 210008 ;<sup>2</sup>福建师范大学地理科学学院亚热带资源与环境福建省重点实验室,福州 350007)

**摘要** 通过室内培育实验研究了黑土、潮土和红壤有机碳的分解速率。结果表明:不同类型土壤有机碳的分解速率常数存在显著差异( $P < 0.05$ )。黑土、潮土和红壤有机碳的分解速率常数分别为  $2.2 \times 10^{-4} \cdot d^{-1}$ 、 $6.0 \times 10^{-4} \cdot d^{-1}$  和  $3.4 \times 10^{-4} \cdot d^{-1}$ 。回归分析发现,土壤 pH 与有机碳分解速率常数呈极显著相关关系, pH < 5.5 或 > 8.0 时,分解速率常数均大幅提高。土壤中粘粒 + 粉粒含量与 3 种类型土壤有机碳的分解速率常数呈极显著负相关,表明粘粒 + 粉粒含量是 3 类土壤有机碳分解速率存在差异的主导因子。

**关键词** 培育实验 土壤类型 有机碳 分解速率

文章编号 1001-9332(2007)10-2251-05 中图分类号 S153 S154 文献标识码 A

**Organic carbon decomposition rate in different soil types.** YIN Yun-feng<sup>1,2</sup>, CAI Zu-cong<sup>1</sup> (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; <sup>2</sup>Fujian Provincial Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment, College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2007, 18(10): 2251-2255.

**Abstract:** With incubation experiment, this paper studied the decomposition rate of organic carbon in black soil, fluvo-aquic soil, and red soil. It was shown that these three soil types had significantly different decomposition rate constant of organic carbon ( $P < 0.05$ ), with the corresponding value being  $2.2 \times 10^{-4} \cdot d^{-1}$ ,  $6.0 \times 10^{-4} \cdot d^{-1}$ , and  $3.4 \times 10^{-4} \cdot d^{-1}$ , respectively. The decomposition rate constant had a significant correlation with soil pH, which was increased greatly when the soil pH was < 5.5 or > 8.0, and a significant negative correlation with the contents of soil clay and silt, indicating that soil clay and silt content was one of the dominant factors affecting the decomposition rate of organic carbon in these soil types.

**Key words:** incubation experiment; soil type; organic carbon; decomposition rate.

## 1 引言

研究农田土壤有机碳的动态变化与平衡,对于预测农田土壤肥力演变趋势,正确评价农田土壤的固碳潜力具有重要意义<sup>[14,19-20,28]</sup>。土壤有机碳分解速率是土壤碳输出的重要参数,有关的研究结果是了解土壤碳动态平衡的基础<sup>[2,4,9,15]</sup>。由于气候因子及土壤类型的差异,不同地区的土壤有机碳分解速率不同,但在模型中,土壤有机碳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<sup>[13,24]</sup>。因此,了解不同地区土壤有机碳的分解速率将为土

壤碳周转模型的修正提供基础数据。本文研究了黑土、潮土和红壤有机碳的分解速率,以期为区域土壤碳平衡的研究提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 供试土壤

黑土采自黑龙江省,均取自表层(0~20 cm),采样时间为2002—2003年。按土地利用方式的不同划分为耕地、林地和荒地3种类型。耕地采样点3个,分别为绥化市北林区农业技术推广中心试验地(BC-1),连续种植大豆12年;东北农业大院内试验地(BC-2),连续种植小麦18年;绥化市赵光农场3队(BC-3),土壤比较肥沃,开垦30年以上,始终种植大豆。林地土样采自绥化市宝山镇联合村(BF-

\* 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资助项目(20060400735)。

\*\* 通讯作者。E-mail: zccai@mail.issas.ac.cn

2006-08-13 收稿,2007-07-22 接受。

4) 林龄 30 年以上. 荒地土样( BU-5 和 BU-6 )采自赵光农场 3 队.

潮土采自中国科学院封丘农业生态实验站长期定位施肥试验地内, 土壤为黄河沉积物发育而成的潮土. 长期定位试验起始于 1989 年秋, 采用小麦-玉米一年两熟轮作方式. 试验设 7 个处理, 分别为 CK、NP、NK、PK、NPK、1/2 OM + 1/2 NPK( 有机肥 N 和化肥 N 各占 50% )和 OM( 有机肥 ), 每处理 4 次重复. 在本实验中, 选择 CK、NPK、1/2 OM + 1/2 NPK 和 OM 处理的土壤样品进行培养, 编号分别为 F-CK、F-NPK、F-1/2 OM 和 F-OM. 土样采集时间为 2004 年 3 月.

红壤采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, 土壤为第四纪红粘土发育而成的红壤性水稻土. 试验起始于 1990 年, 采用一年两熟水稻种植方式. 试验设 5 个处理, 分别为 CK、NP、NK、PK 和 NPK, 每处理 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, 编号分别为 R-CK 和 R-NPK. 土样采集时间为 2003 年 3 月. 所有土壤样品理化性质见表 1.

## 2.2 研究方法

**2.2.1 培养方法** 采用室内培养实验, 3 次重复. 将相当于 50.00 g 烘干土的风干土样( 过 10 目筛 )装入塑料杯中, 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(  $30 \pm 2$  ) $^{\circ}\text{C}$  的培养箱中进行培养, 每隔 48 h 称量补充水分. 动态取样时间分别为 0、15、30、60、90、120 和 180 d. 培养结束后, 立即取出培养样品放入 50  $^{\circ}\text{C}$  烘箱中以抑制

表 1 供试土壤基本理化性质

Tab. 1 Some physical and chemical properties of the tested soils

样品代号 Sample No.	有机碳 Organic C ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全氮 Total N ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	碳/氮 C/N	pH	土壤持 水量 WHC ( $< 2 \mu\text{m}$ ) ( % )	粘粒 Clay ( $2 \sim 20 \mu\text{m}$ ) ( % )	粉粒 Silt ( $> 20 \mu\text{m}$ ) ( % )
BC-1	18.62	1.48	12.58	7.57	69.9	46.4	26.6
BC-2	18.44	1.10	16.76	7.75	69.4	15.1	33.1
BC-3	37.25	2.85	13.07	7.76	76.8	22.6	51.2
BF-4	22.20	1.74	12.76	7.00	66.8	14.2	32.7
BU-5	32.47	2.54	12.78	6.74	74.0	41.0	33.2
BU-6	61.24	4.82	12.70	6.15	92.3	22.6	39.8
F-CK	3.36	0.31	10.84	8.58	43.8	9.0	21.8
F-NPK	5.12	0.53	9.66	8.41	48.4	9.0	21.8
F-1/2 OM	6.90	0.69	10.00	8.27	49.1	9.0	21.8
F-OM	8.70	1.06	8.21	8.04	53.3	9.0	21.8
R-CK	5.44	0.62	8.77	5.77	61.5	25.5	41.5
R-NPK	8.02	0.82	9.78	5.38	62.6	25.5	41.5

WHC : Water holding capacity.

微生物的生长, 72 h 后取出烘干样, 全部磨碎过 2 mm 筛, 混匀. 利用四分法从中取出一份过 0.25 mm 筛, 放入样品袋中用于测定土壤有机碳含量.

**2.2.2 测定方法** 土壤有机碳和全氮含量用元素分析仪( Vario Macro CNS, Elementar )测定; 土壤持水量( WHC )测定参照文献[ 3 ]进行; pH 用 pH 计( CHN868, Thermo Orion )测定, 水土比为 2.5 : 1; 土壤颗粒组成用激光粒度分析仪( LS230, Beckman Coulter )测定.

**2.2.3 计算方法** 利用一级反应方程拟合土壤有机碳含量随培养时间的变化, 计算出有机碳分解速率常数. 方程的表达式为  $C_t = C_0 e^{-kt}$ . 其中:  $C_t$  为任一时间  $t$  的土壤有机碳含量(  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  );  $C_0$  为土壤初始有机碳含量(  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  );  $k$  为土壤有机碳的分解速率常数(  $\text{d}^{-1}$  );  $t$  为培养时间( d ).

## 2.3 数据处理

采用 SPSS 11.5 软件对实验数据进行统计分析.

## 3 结果与分析

### 3.1 不同类型土壤有机碳的分解速率常数

30  $^{\circ}\text{C}$  恒温培养条件下, 所有供试土壤有机碳含量与培养时间的关系均可用一级反应方程拟合, 且都达到极显著水平(  $P < 0.01$  ). 黑土中, BF-4 号林地有机碳的分解速率常数最大, 达  $2.9 \times 10^{-4} \cdot \text{d}^{-1}$ ; 而 BC-1 号耕地有机碳的分解速率常数最小, 为  $1.4 \times 10^{-4} \cdot \text{d}^{-1}$ , 其它黑土有机碳的分解速率常数则介于两者之间( 表 2 ). 潮土中, 有机碳分解速率常数为  $5.5 \times 10^{-4} \sim 6.3 \times 10^{-4} \cdot \text{d}^{-1}$ , 尽管 4 个潮土处理的

表 2 不同类型土壤有机碳分解一级反应方程拟合

Tab. 2 Simulation of soil organic carbon decomposition by first-order reaction equation

样品代号 Sample No.	$C_0$ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$k$ ( $\times 10^{-4} \cdot \text{d}^{-1}$ )	$R^2$
BC-1	18.53	1.4	0.896 **
BC-2	18.35	2.4	0.943 **
BC-3	37.24	2.1	0.966 **
BF-4	22.13	2.9	0.973 **
BU-5	32.44	2.1	0.964 **
BU-6	61.30	2.2	0.881 **
F-CK	3.33	6.3	0.891 **
F-NPK	5.04	5.9	0.944 **
F-1/2 OM	6.82	6.2	0.897 **
F-OM	8.51	5.5	0.832 **
R-CK	5.41	2.3	0.897 **
R-NPK	7.95	4.4	0.883 **

\*\*  $P < 0.01$ .

有机碳含量在  $3.36 \sim 8.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间,但其分解速率常数的差别并不大。红壤中 R-CK 和 R-NPK 的有机碳分解速率常数分别为  $2.3 \times 10^{-4}$  和  $4.4 \times 10^{-4} \cdot \text{d}^{-1}$  相差近 1 倍。

方差分析表明,不同类型土壤有机碳的分解速率常数差异显著 ( $P < 0.01$ ),具体表现为潮土 > 红壤 > 黑土。黑土、潮土和红壤有机碳的分解速率常数平均值分别为  $2.2 \times 10^{-4}$ 、 $6.0 \times 10^{-4}$  和  $3.4 \times 10^{-4} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

### 3.2 土壤有机碳分解速率的影响因素

对黑土和潮土有机碳分解速率常数与土壤性质分别进行简单相关分析表明,除黑土有机碳的分解速率常数与土壤粘粒含量呈显著负相关外,其它土壤因子与有机碳分解速率常数均无明显的相关关系,特别是有机碳含量与分解速率常数并没有呈现明显的线性关系,故这一部分数据没有列出。将 3 种不同类型的土壤作为一个总体进行简单相关分析表明,土壤 pH 与有机碳分解速率常数呈极显著的开口向上的抛物线关系,土壤 pH < 5.5 或 > 8.0 时,土壤有机碳的分解速率常数均大幅提高,在 5.5 ~ 8.0 之间时,土壤有机碳分解速率常数变化很小(图 1)。其它土壤因子则与有机碳分解速率常数呈显著或极显著的负相关,有机碳分解速率常数相关值的大小依次为:粘粒 + 粉粒含量 > 粘粒含量 > 粉粒含量 > 有机碳含量 > C/N > 全氮含量(表 3)。偏相关分析(有机碳分解速率常数与某一因素在控制其他任一影响因素时的相关系数的最大值)表明,当控制了某一因素的影响后,土壤有机碳含量、全氮含量和粉粒含量与有机碳分解速率常数并无显著的相关性 ( $P > 0.05$ ),而土壤 C/N、粘粒含量和粘粒 + 粉粒含量依然与有机碳分解速率常数呈显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ) 的负相关,说明偏相关分析更能

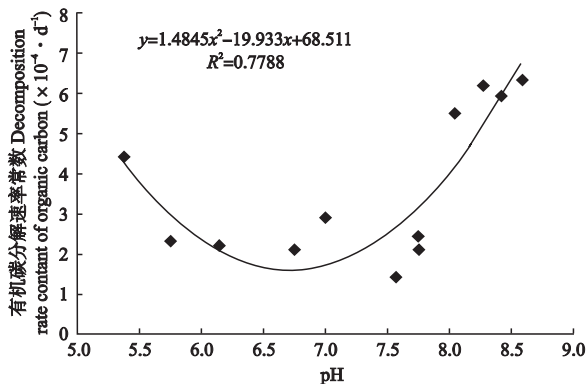


图 1 土壤 pH 与有机碳分解速率常数的关系

Fig. 1 Relationship between soil pH and decomposition rate constant of organic carbon.

表 3 土壤有机碳分解速率常数与土壤性质的相关分析  
Tab. 3 Correlation and partial correlation coefficients between SOC decomposition rate constant and soil properties

土壤性质 Soil property	相关系数 Correlation coefficient	偏相关系数 Partial correlation coefficient
有机碳 SOC	-0.628 *	-0.586
全氮 Total N	-0.587 *	-0.527
碳/氮比 C/N ratio	-0.598 *	-0.658 *
粘粒含量 Clay content	-0.751 **	-0.772 **
粉粒含量 Silt content	-0.660 *	-0.514
粘粒 + 粉粒含量 Clay + Silt content	-0.858 **	-0.876 **

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

真实地反映变量间的相关关系。

通过多元回归分析建立土壤有机碳分解速率常数与影响因素的定量关系,最终有 2 个回归方程具有统计学意义。一元回归方程  $k = 8.222 - 0.086 \times (\text{Clay} + \text{Silt})$  的确定系数  $R^2$  为 0.737,达到了极显著水平 ( $P < 0.01$ ),表明粘粒 + 粉粒含量是导致 3 种类型土壤有机碳分解速率存在差异的主要因子。粘粒 + 粉粒含量越高,有机碳分解越慢。二元回归方程  $k = 10.800 - 0.075 \times (\text{Clay} + \text{Silt}) - 0.278 \times \text{C/N}$  的确定系数  $R^2$  为 0.851,也达到了极显著水平 ( $P < 0.01$ )。比较二元回归方程的标准化回归系数的绝对值可以明确自变量对因变量的贡献大小,二元回归方程中粘粒 + 粉粒含量的标准化回归系数为 -0.742,而土壤 C/N 的标准化回归系数为 -0.357,可见,粘粒 + 粉粒含量对有机碳分解速率的影响更大。

## 4 讨 论

土壤有机碳的分解一般遵循一级反应动力学方程<sup>[1,9,23,30]</sup>。本研究中潮土、红壤和黑土有机碳分解速率常数的平均值分别为  $6.0 \times 10^{-4}$ 、 $3.4 \times 10^{-4}$  和  $2.2 \times 10^{-4} \cdot \text{d}^{-1}$ 。李忠佩等<sup>[14]</sup>对我国不同地区土壤有机碳的矿化率进行比较发现,红壤有机碳的矿化率(2.3%)低于华北平原的潮土(6.4%),高于东北平原的黑土(1.5%),与本研究结果一致。

土壤有机碳分解速率不仅取决于有机碳的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诸多环境因素<sup>[6,12,16-18,30]</sup>,还与土地利用方式、耕作措施、轮作制度、施肥方式和水分管理等人因素密切相关<sup>[5,11,20-21,25]</sup>。本研究结果表明,土地利用方式影响了黑土有机碳的分解速率,但有机碳分解速率常数与有机碳含量之间并没有呈现明显的规律性。供试潮土有机碳分解速率常数也与有机碳含量无显著的相关性。施肥措施对潮土有机碳

分解速率的影响不大,这与以往的研究结论有所不同<sup>[4,7,26]</sup>.本试验所取的4个潮土土样来自同一长期定位施肥试验地,气候条件、土壤质地、pH和CaCO<sub>3</sub>含量基本相同,只有有机碳含量差别较大.一般情况下,土壤有机碳含量越高,其分解速率也越快<sup>[7,15]</sup>.Cai等<sup>[4]</sup>利用该长期定位试验土壤有机碳含量随时间变化数据和历年有机碳输入数据,采用土壤有机碳输入、输出平衡模型研究表明,土壤有机碳矿化速率常数与有机碳含量呈显著的指数关系,即随着土壤有机碳含量的升高,土壤有机碳的矿化速率常数呈指数增加.而本实验条件下,土壤有机碳的分解速率常数与有机碳含量并无显著的相关性,这与利用田间试验数据获得的结果截然不同.一般通过田间试验获得的土壤有机碳分解速率仅限于有机碳含量高的土壤<sup>[26]</sup>或需要较长的时间<sup>[4]</sup>.目前由于技术和实际操作上的局限性,采用田间试验获得土壤有机碳分解速率常数的研究结果还较少<sup>[9,14]</sup>,而通过室内培育实验可以研究土壤有机碳的分解速率,阐明土壤有机碳的分解规律及各种因素对有机碳分解的影响<sup>[10]</sup>.但从上述结果可以看出,用室内培养实验结果解释田间条件下土壤有机碳矿化速率时需要特别谨慎.

已有研究表明,土壤有机碳的稳定性和粘粒含量或粘粒+粉粒含量有关<sup>[8,18,22]</sup>.由于粘粒或粘粒+粉粒的多少将直接影响土壤的通气性,从而影响微生物活动<sup>[22,29]</sup>.另外,粘粒或粘粒+粉粒也与有机碳形成有机无机复合体,粘粒或粘粒+粉粒含量越高,土壤有机碳的物理性保护作用越强<sup>[8,27]</sup>.多元回归分析表明,尽管3种类型土壤的性质差别很大(表1),但土壤有机碳分解速率常数与粘粒+粉粒含量(<20 μm)之间都呈很好的线性负相关.一元回归方程的确定系数 $R^2$ 为0.737,达到了极显著水平( $P < 0.01$ ),表明在土壤水分和温度相同的条件下,仅粘粒+粉粒含量即可解释3种类型土壤有机碳分解速率74%的变异.二元回归方程中,在保留变量粘粒+粉粒含量的同时,引入变量土壤C/N后发现,回归方程的确定系数有所提高, $R^2$ 为0.851,也达到了极显著水平( $P < 0.01$ ),粘粒+粉粒含量和土壤C/N可共同解释3种类型土壤有机碳分解速率85%的变异.粘粒+粉粒含量和土壤C/N越高,有机碳的分解越慢,但前者比后者对有机碳分解速率常数的影响大,这与一元回归分析的结论一致.土壤pH对有机碳分解速率常数的影响并不是线性的,在pH 5.5~8.0之间,土壤pH对有机碳分解速

率常数的影响很小,强酸性和强碱性都将促进土壤有机碳的分解.粘粒含量低、土壤pH高可能是潮土有机碳分解速率常数显著大于黑土和红壤性水稻土的主要原因.红壤性水稻土样本之间土壤pH的差异可能是导致其有机碳分解速率常数不同的主要原因.虽然黑土有机碳含量最高,但其粘粒+粉粒含量也最高,土壤pH处于不利于有机碳分解的范围(表1),因而有机碳分解速率常数最小.由此可见,室内培养方法可较好地解析不同因素对土壤有机碳分解速率的影响.

#### 参考文献

- [1] Alvarez R, Alvarez CR. 2000. Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. *Soil Science Society of America Journal*, **64**: 184-189
- [2] Bertrand I, Delfosse O, Mary B. 2007. Carbon and nitrogen mineralization in acidic, limed and calcareous agricultural soils: Apparent and actual effects. *Soil Biology and Biochemistry*, **39**: 276-288
- [3] Cai Z-C (蔡祖聪), Mosier AR. 1999. Effects of soil moisture on CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions. *Soils (土壤)*, **31**(6): 289-294 (in Chinese)
- [4] Cai ZC, Qin SW. 2006. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China. *Geoderma*, **136**: 708-715
- [5] Foeroid B, de Neergaard A, Høgh-Jensen H. 2004. Turnover of organic matter in a *Miscanthus* field: Effect of time in *Miscanthus* cultivation and inorganic nitrogen supply. *Soil Biology and Biochemistry*, **36**: 1075-1085
- [6] Franzluebbers AJ. 1999. Potential C and N mineralization and microbial biomass from intact and increasingly disturbed soils of varying texture. *Soil Biology and Biochemistry*, **31**: 1083-1090
- [7] Gregorich EG, Ellert BH, Drury CF, et al. 1996. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Science Society of America Journal*, **60**: 472-476
- [8] Hassink J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil*, **191**: 77-87
- [9] Huang D-M (黄东迈), Zhu P-L (朱培立), Wang Z-M (王志明), et al. 1998. A study and question on the decomposition rate of organic carbon under upland and submerged soil conditions. *Acta Pedologica Sinica (土壤学报)*, **35**(4): 482-492 (in Chinese)
- [10] Huang Y (黄耀), Liu S-L (刘世梁), Shen Q-R (沈其荣), et al. 2002. Influence of environmental factors on the decomposition of organic carbon in agricultural soils. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **13**(6): 709-714 (in Chinese)
- [11] Khalil MI, Hossain MB, Schmidhalter U. 2005. Carbon

- and nitrogen mineralization in different upland soils of the subtropics treated with organic materials. *Soil Biology and Biochemistry*, **37**:1507–1518
- [ 12 ] Knorr W, Prentice IC, House JI, *et al.* 2005. Long-term sensitivity of soil carbon turnover to warming. *Nature*, **433**:298–301
- [ 13 ] Kuzyakov Y. 2006. Sources of CO<sub>2</sub> efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biology and Biochemistry*, **38**:425–448
- [ 14 ] Li Z-P (李忠佩), Lin X-X (林心雄), Che Y-P (车玉萍). 2002. Analysis for the balance of organic carbon pools and their tendency in typical arable soils of eastern China. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), **39**(3):351–360 (in Chinese)
- [ 15 ] Li Z-P (李忠佩), Wang X-J (王效举). 1998. Simulation of soil organic carbon dynamic after changing land use pattern in hilly red soil region. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **9**(4):365–370 (in Chinese)
- [ 16 ] McLauchlan KK. 2006. Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamics after cessation of agriculture. *Geoderma*, **136**:289–299
- [ 17 ] Mikha MM, Rice CW, Milliken GA. 2005. Carbon and nitrogen mineralization as affected by drying and wetting cycles. *Soil Biology and Biochemistry*, **37**:339–347
- [ 18 ] Oades JM. 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, **5**:35–70
- [ 19 ] Pan G-X (潘根兴), Zhao Q-G (赵其国). 2005. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: Facing the challenge of global change and food security. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), **20**(4):384–393 (in Chinese)
- [ 20 ] Reichstein M, Subke JA, Angeli AC, *et al.* 2005. Does the temperature sensitivity of decomposition of soil organic matter depend upon water content, soil horizon, or incubation time? *Global Change Biology*, **11**:1754–1767
- [ 21 ] Ross DJ, Tate KR, Newton PCD, *et al.* 2003. Carbon mineralization in an organic soil, with and without added grass litter, from a high-CO<sub>2</sub> environment at a carbon dioxide spring. *Soil Biology and Biochemistry*, **35**:1705–1709
- [ 22 ] Torn MS, Trumbore SE, Chadwick OA, *et al.* 1997. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature*, **389**:170–173
- [ 23 ] Wadman WP, Haan SD. 1997. Decomposition of organic matter from 36 soils in a long-term pot experiment. *Plant and Soil*, **189**:289–301
- [ 24 ] Whalen JK, Bottomley PJ, Myrold DD. 2000. Carbon and nitrogen mineralization from light and heavy fraction additions to soil. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**:1345–1352
- [ 25 ] Wu J-G (吴建国), Zhang X-Q (张小全), Xu D-Y (徐德应). 2004. Impact of land-use change on soil carbon storage. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**(4):593–599 (in Chinese)
- [ 26 ] Yan H-J (严慧峻), Liu J-F (刘继芳), Zhang R (张锐), *et al.* 1997. Study on the regular increase and decline of organic matter in salt-affected soils of Huanghuai plain. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), **3**(1):1–8 (in Chinese)
- [ 27 ] Yin YF, Cai ZC. 2006. Equilibrium of organic matter in heavy fraction for three long-term field experimental soils in China. *Pedosphere*, **16**(2):177–184
- [ 28 ] Yin Y-F (尹云锋), Cai Z-C (蔡祖聪), Qin S-W (钦绳武). 2005. Dynamics of fluvo-aquic soil organic matter fractions under long-term fertilization. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**(5):875–878 (in Chinese)
- [ 29 ] Zhang J-T (张金屯). 1998. Effects of global climate change on C and N circulation in natural soils. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), **18**(5):463–471 (in Chinese)
- [ 30 ] Zhou Y-C (周运超), Pan G-X (潘根兴), Li L-Q (李恋卿), *et al.* 2003. Change of organic carbon pools and the responses to soil warming during laboratory incubations under different temperatures of 3 kinds of paddy soils in Tai Lake Region, China. *Environmental Science* (环境科学), **24**(1):46–51 (in Chinese)

---

作者简介 尹云锋,男,1975年生,博士.主要从事土壤碳平衡方面的研究,发表论文10篇. E-mail:yunfengyin@163.com

责任编辑 张凤丽

---