

外源新碳在不同类型土壤团聚体中的分配规律*

吕元春^{1,2} 薛丽佳^{1,2} 尹云锋^{1,2†} 高人^{1,2} 马红亮^{1,2} 杨玉盛^{1,2}

(1 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地,福州 350007)

(2 福建师范大学地理科学学院,福州 350007)

摘要 通过室内模拟实验,利用 $\delta^{13}\text{C}$ 方法研究外源新碳(^{13}C 标记的水稻秸秆)在不同类型土壤(红壤、黄红壤和草甸土)团聚体中的分配规律。培养温度为 25°C ,培养时间为 360 d。结果表明:在三种类型土壤中,外源新碳进入到土壤团聚体中的数量由大到小顺序依次为 $250 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ 、 $50 \sim 250\ \mu\text{m}$ 和 $< 50\ \mu\text{m}$ 。而进入到土壤中的外源新碳,56.8%~59.6% 残留在 $250 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ 团聚体中,25.9%~28.7% 残留在 $50 \sim 250\ \mu\text{m}$ 团聚体中,11.7%~17.3% 残留在 $< 50\ \mu\text{m}$ 团聚体中,表明新进入的外源碳主要分配在大团聚体中。

关键词 新碳; $\delta^{13}\text{C}$; 土壤类型; 团聚体

中图分类号 S153 **文献标识码** A

土壤有机碳(Soil organic carbon, SOC)是土壤碳库中较为活跃的部分,是陆地生态系统碳平衡的主要因子,维持着陆地生态环境的碳循环系统^[1-2]。外源碳作为 SOC 的主要来源,是 SOC 累积和土壤肥力提高的基础^[3]。在全球变化背景下,大气中 CO_2 浓度不断升高,不但刺激了植物地上生物量的增长,也可能增加植物光合产物向地下输入^[4]。陆地生态系统模型(Terrestrial ecosystem models, TEM)预测,大气 CO_2 浓度提高 1 倍,全球植物净初级生产力(Net primary productivity, NPP)将增加 16.3%^[3]。外源碳的增加无疑使土壤成为一个潜在的碳汇^[5]。目前有关研究多集中在外源碳对 SOC 以及活性有机碳的影响等方面,而对外源碳在土壤不同组分中的分配规律研究较少^[6-8]。土壤不同组分由于还可以律。物理结构的差异,导致外源碳的可进入性不同,进而影响了 SOC 组分的周转及稳定^[9]。 $\delta^{13}\text{C}$ 技术和团聚体分组方法已被广泛应用在 SOC 研究中^[10-13]。 $\delta^{13}\text{C}$ 方法不但可以研究原 SOC 的周转,还可以示踪进入到土壤中外源新碳的变化^[14-15]。为此,本文利用 $\delta^{13}\text{C}$ 方法,以不同类型土壤为研究对象,结合室内培养实验,研究外源新碳在不同土壤

团聚体中的分配规律,揭示外源新碳的去向,为深入研究 SOC 的稳定和保护机制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

土壤样品采自武夷山国家级自然保护区内($117^\circ 27' \sim 117^\circ 51' \text{E}$, $27^\circ 33' \sim 27^\circ 54' \text{N}$)。该区域地处中亚热带湿润气候区,年均气温 $13 \sim 9^\circ\text{C}$,年均降雨量 $1\,700 \sim 3\,100\ \text{mm}$,年均相对湿度 70%~85% 以上。在不同海拔处选取典型土壤采样点,依次为红壤(海拔 310 m,主要植被为杉木)、黄红壤(海拔 920 m,主要植被为杉木、毛竹)和草甸土(海拔 2 150 m,主要植被为高山草甸)。在同一海拔处采集多点土壤并混合成一个样品,采样深度为 $0 \sim 15\ \text{cm}$,采集时间为 2008 年 6 月。样品采集后立即带回实验室自然风干,研磨过 2 mm 筛备用。供试土壤理化性质如表 1。供试植物材料为 ^{13}C 标记的水稻秸秆,实验前将秸秆剪成约 1 cm 长, 70°C 烘干后放入干燥器中备用。秸秆全碳含量为 $365.8\ \text{g kg}^{-1}$,全氮含量为 $19.9\ \text{g kg}^{-1}$, $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $1\,745\text{‰}$ 。

* 国家自然科学基金项目(40801087,31070549)、福建省自然科学基金项目(2010J01248)资助

† 通讯作者, E-mail: yunfengyin@163.com

作者简介:吕元春(1987—),女,河南安阳人,硕士研究生,从事土壤碳循环研究。E-mail: lvyuanchun@163.com

收稿日期:2012-06-18;收到修改稿日期:2012-09-28

表 1 土壤基本理化性质
Table 1 Properties of studied soils

土壤类型 Soil type	有机碳 Organic carbon (g kg ⁻¹)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	pH	黏粒 Clay (%)	粉粒 Silt (%)
红壤 Red soil	14.91	-22.81	1.73	4.75	54.56	23.68
黄红壤 Yellowish red soil	30.22	-25.04	2.96	5.05	43.98	32.46
草甸土 Meadow soil	112.34	-25.75	9.68	4.63	41.52	51.62

1.2 培养方法

实验设置处理为 0% (土壤不加秸秆, CK) 和 1% 秸秆处理 (1% 为烘干土的质量分数), 每个处理重复 3 次。具体步骤如下: 称取相当于 100.00 g 烘干土重的风干土样与秸秆充分混匀后装入塑料杯中, 补加蒸馏水至土壤持水量 (Water holding capacity, WHC) 的 50%, 用可透气的塑料薄膜封口, 置于 25℃ 培养箱中培养, 每隔 48 h 称重补加水分, 并在 120 d、240 d 和 360 d 进行破坏性取样。培养结束后, 立即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, 挑出未分解的秸秆残体, 剩余土壤样品用于团聚体分组。土壤团聚体采用干筛法^[16], 利用筛分仪 (EML200 digital plus T, 德国) 将土壤全土分成 250~2 000 μm 、50~250 μm 和 <50 μm 三个粒级。

1.3 分析方法

土壤有机碳含量测定采用重铬酸钾-浓硫酸氧化法; 土壤 pH 采用电位法 (水土比 2.5:1); 土壤黏粒和粉粒含量采用沉降法测定 (SEDIMA4-12, 德国), 上述分析方法参见文献 [17]。秸秆的全碳与全氮含量采用 CN 元素分析仪 (Elementar Vario EL III, Elementar, 德国) 测定; 土壤和秸秆的 $\delta^{13}\text{C}$ 值采用同位素质谱分析仪 (MAT 253, Thermo Fisher, 德国) 测定。

1.4 计算方法

计算方法参照文献 [14-15]。本实验中, 培养结束时全土或不同粒级土壤团聚体有机碳来源于秸秆新碳的比例为:

$$f = (\delta C_{\text{SL}} - \delta C_{\text{CK}}) / (\delta C_{\text{L}} - \delta C_{\text{CK}}) \quad (1)$$

式中, δC_{SL} 为培养结束时添加标记秸秆的土壤 $\delta^{13}\text{C}$ 值; δC_{CK} 为不加秸秆的土壤 $\delta^{13}\text{C}$ 值; δC_{L} 为标记秸秆的 $\delta^{13}\text{C}$ 值; 若全土或不同粒级土壤团聚体有机碳总量 C 已知, 那么总量中来自秸秆新碳 C_{N} 为:

$$C_{\text{N}} = fC \quad (2)$$

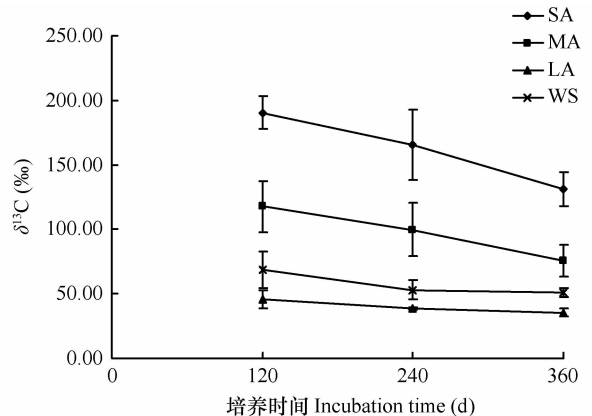
1.5 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据分析; 采用 SPSS 16.0 进行单因素方差分析, 用 LSD 检验, 显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 培养过程中土壤 $\delta^{13}\text{C}$ 值的动态变化

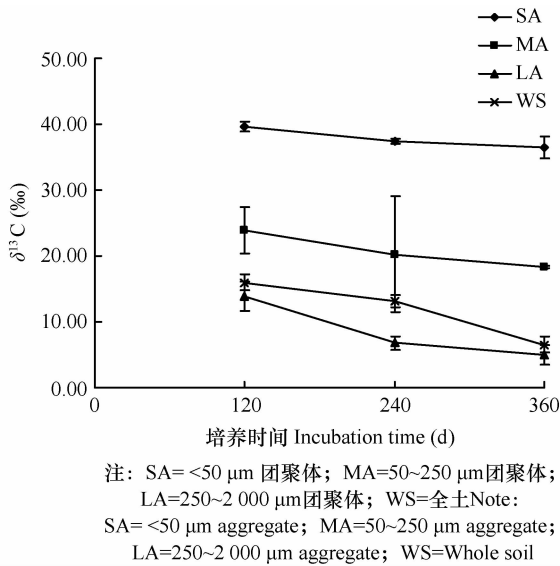
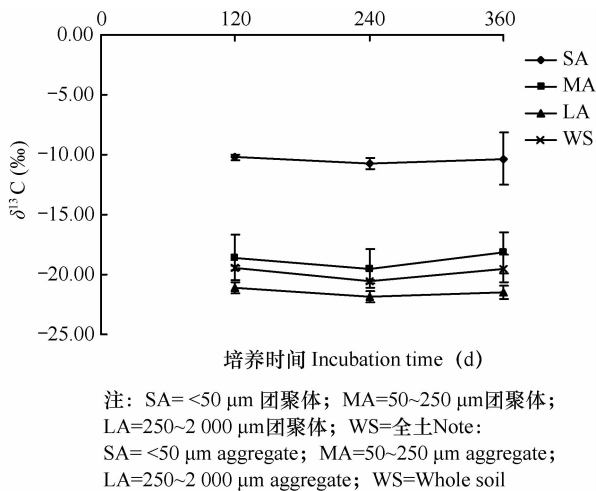
^{13}C 自然丰度方法研究 SOC 一般用于田间原位试验, 要求有 C_3 和 C_4 植物的更替。而室内培养实验利用这一方法则需加入较高量的外源新碳才能使土壤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值有较明显的变化, 用量高达 5%~12% (土壤质量分数), 这与田间实际情况差别很大^[14]。培养实验采用标记材料则可避免外源碳添加量过高的不足。由图 1、图 2 和图 3 可知, 培养结束后三种类型土壤不同粒级团聚体及全土的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均显著提高, 且在红壤上提高的幅度最大, 变化最为明显。其中, 红壤和黄红壤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值随培养时间的延长而呈降低的趋势, 但山地草甸土的 $\delta^{13}\text{C}$ 值并



注: SA=<50 μm 团聚体; MA=50~250 μm 团聚体; LA=250~2 000 μm 团聚体; WS=全土
Note: SA=<50 μm aggregate, MA=50~250 μm aggregate, LA=250~2 000 μm aggregate, WS=Whole soil

图 1 红壤不同粒级团聚体 $\delta^{13}\text{C}$ 值的动态变化

Fig. 1 Dynamics of $\delta^{13}\text{C}$ value in different soil aggregate fractions of red soil

图2 黄红壤不同粒级团聚体 $\delta^{13}\text{C}$ 值的动态变化Fig. 2 Dynamics of $\delta^{13}\text{C}$ value in different soil aggregate fractions of yellowish red soil图3 草甸土不同粒级团聚体 $\delta^{13}\text{C}$ 值的动态变化Fig. 3 Dynamics of $\delta^{13}\text{C}$ value in different soil aggregate fractions of meadow soil

没有明显的变化。

尽管添加秸秆后不同类型土壤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化趋势差异很大,但三种类型土壤不同粒级团聚体 $\delta^{13}\text{C}$ 值的递减顺序相同,依次为<50 μm、50~250 μm和250~2 000 μm,呈现团聚体粒级越细,土壤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值越高的趋势。这与慈恩等^[18]研究结果类似,他们研究长期水稻土的有机碳分布和稳定性碳同位素特征,发现稻田土壤不同粒级复合体有机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值随着粒级的增大不断降低。但也有不同的研究结果,如刘启明等^[19]发现森林转变为农田后土壤

的 $\delta^{13}\text{C}$ 呈现了粗砂>细砂>粗粉>黏粒>细粉的规律。导致这种不同的结果主要在于土壤 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化与植被来源(外源碳)有关,对于单一植被(C_3 植物或 C_4 植物)来源的土壤,不同粒级团聚体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般随着粒级的增大而降低,但对于同时具有两种植被来源的土壤(C_4 植物取代 C_3 植物或者 C_3 植物取代 C_4 植物),不同粒级团聚体 $\delta^{13}\text{C}$ 值则随粒级的增大而减少(或增大)的变化趋势,其原因在于粗粒级更容易受外源碳的影响。

2.2 外源新碳在土壤团聚体中的分配

在田间条件下,外源碳输入、水热条件、土壤性质以及管理措施(耕作、施肥、灌溉)等对SOC含量有较大影响^[20-22]。在未达饱和前,SOC含量一般随外源碳输入量的增加而增加,但增加幅度也取决于土壤初始有机碳含量。表2结果表明,培养360 d时,进入到红壤、黄红壤、草甸土中外源碳含量分别为 0.70 g kg^{-1} 、 0.53 g kg^{-1} 和 0.40 g kg^{-1} ,差异达显著水平。外源新碳在红壤中分配最高,草甸土中最少,表现为土壤初始有机碳含量越低,进入到土壤中的外源新碳就越多的趋势。这与Hamer和Marschner^[22]的研究一致,说明进入到土壤中外源新碳的多少与土壤初始有机碳含量有关。培养结束时,三种类型土壤团聚体外源新碳含量递减顺序为250~2 000 μm、50~250 μm和<50 μm(表2)。进入到土壤中的外源新碳56.8%~59.6%残留在250~2 000 μm团聚体中,25.9%~28.7%残留在50~250 μm团聚体中,而11.7%~17.3%残留在<50 μm微团聚体中(表3)。

一般情况下,土壤大团聚体比微团聚体含有更多新形成的有机物^[23]。Smucker和Park^[24]在长达20个月的培养之后,也发现 C_3 植物产生的新鲜有机碳主要聚集在大团聚体中,含量达43%~66%,这与本研究的结果接近。而Angers等^[15]发现新碳在不同团聚体中的动态并不一致,培养前期新碳在>250 μm团聚体中迅速增加,其后逐渐减少,但在<50 μm和50~250 μm团聚体中呈现逐渐增加的趋势。此外,土壤类型的差异,也会影响新碳在团聚体中的分配^[4,25]。如Verchot等^[25]发现新碳在大团聚体(>212 μm)中的比例,铁铝土为35%~70%、红砂土为4%~26%;在中团聚体(53~212 μm)中铁铝土为18%~49%、红砂土为40%~80%;而在微团聚体(20~53 μm)中铁铝土小于9%~17%、红砂土为14%~45%。而本研究中,对于三种类型土壤,新碳比例仅在<50 μm微团聚体中差异显著,在250~

表 2 不同粒级土壤团聚体中外源新碳含量

Table 2 Fresh carbon contents in different soil aggregate fractions

土壤类型 Soil type	全土 Whole soil (g kg ⁻¹)	不同粒级团聚体 Different aggregate fractions (g kg ⁻¹)		
		250 ~ 2 000 μm	50 ~ 250 μm	< 50 μm
红壤 Red soil	0.70a	0.40a	0.19a	0.10a
黄红壤 Yellowish red soil	0.53b	0.35a	0.17a	0.07b
草甸土 Meadow soil	0.40c	0.21b	0.10b	0.06b

注:同一列中不同字母表示差异达到显著水平($p < 0.05$)。下同 Note: Different letters within a column indicates significant differences between treatments at $p < 0.05$ level. The same below

表 3 不同粒级团聚体新碳占进入到土壤中新碳总量的比例

Table 3 Percentage of fresh carbon in different aggregate fractions to total fresh carbon in whole soil

土壤类型 Soil type	不同粒级团聚体新碳比例 Percentage of fresh carbon in different aggregate fractions (%)		
	250 ~ 2 000 μm	50 ~ 250 μm	< 50 μm
红壤 Red soil	58.4a	27.4a	14.2b
黄红壤 Yellowish red soil	59.6a	28.7a	11.7c
草甸土 Meadow soil	56.8a	25.9a	17.3a

2 000 μm 和 50 ~ 250 μm 粒级团聚体中差异并不明显(表 3)。造成上述差异除与土壤性质有关外,外源新碳输入(数量及质量)、培养条件以及团聚体分组方法(干筛法和湿筛法)等不同均会影响外源新碳的分配^[26-27],其原因还有待进一步研究。

3 结 论

土壤团聚体对有机碳具有物理保护作用,是决定 SOC 稳定的关键。通过一年培养实验,发现在三种类型土壤中,外源新碳土壤团聚体中的分配均呈现团聚体越粗,分配越多的趋势,大团聚体中新碳比例达 57% 以上。此外,新碳在不同类型土壤中的分配,则呈现了土壤初始有机碳含量越低,分配越多的趋势。因此,对于矿质土壤,同等条件下优先向有机碳含量低的土壤中添加秸秆更有利于固碳。当然,这部分新碳在土壤团聚体中的形态、结构及周转特征还需进一步深入研究。

参 考 文 献

[1] Vanhala P, Karhu K, Tuomi M, et al. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and northern areas of the boreal forest zone. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(7): 1758—1764

[2] 许信旺,潘根兴,曹志红,等. 安徽省土壤有机碳空间差异及影响因素. *地理研究*, 2007, 26(6): 1077—1085. Xu X W, Pan G X, Cao Z H, et al. A study on the influence of soil organic carbon density and its spatial distribution in Anhui Province of

China (In Chinese). *Geographical Research*, 2007, 26(6): 1077—1085

[3] Scholes M C, Powlson D, Tian G L. Input control of organic matter dynamics. *Geoderma*, 1997, 79(1/4): 25—47

[4] Hagedorn F, Spinnler D, Bundt M, et al. The input and fate of new C in two forest soils under elevated CO₂. *Global Change Biology*, 2003, 9(6): 862—872

[5] Gill R B, Polley H W, Johnson H B, et al. Nonlinear grassland responses to past and future atmospheric CO₂. *Nature*, 2002, 417(6886): 279—282

[6] 路文涛,贾志宽,张鹏,等. 秸秆还田对宁夏旱作农田土壤活性有机碳及酶活性的影响. *农业环境科学学报*, 2011, 30(3): 522—528. Lu W T, Jia Z K, Zhang P, et al. Effects of straw returning on soil labile organic carbon and enzyme activity in semi-arid areas of Southern Ningxia, China (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(3): 522—528

[7] 田慎重,宁堂原,王瑜,等. 不同耕作方式和秸秆还田对麦田土壤有机碳含量的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 373—378. Tian S C, Ning T Y, Wang Y, et al. Effects of different tillage methods and straw-returning on soil organic carbon content in a winter wheat field (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(2): 373—378

[8] 刘中良,宇万太,周桦,等. 不同有机肥施入量对土壤团聚体有机碳组分的影响. *土壤学报*, 2011, 48(6): 1149—1157. Liu Z L, Yu W T, Zhou H, et al. Effect of application rate of barnyard manure on organic carbon fraction of soil aggregates (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(6): 1149—1157

[9] He Y, Xu Z H, Chen C R, et al. Using light fraction and macro-aggregate associated organic matters as early indicators for management-induced changes in soil chemical and biological properties in adjacent native and plantation forests of subtropical Aus-

- tralia. *Geoderma*, 2008, 147(3/4): 116—125
- [10] 李恋卿, 潘根兴, 张旭辉, 等. 土壤团聚体有机碳稳定性同位素组成. 南京农业大学学报, 2000, 23(1): 114—116. LI L Q, Pan G X, Zhang X H, et al. Stable isotopic composition of organic carbon in soil aggregates (In Chinese). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2000, 23(1): 114—116
- [11] Magid J, Cadisch G, Giller K E. Short and medium term plant litter decomposition in a tropical Ultisol elucidated by physical fractionation in a dual ^{13}C and ^{14}C isotope study. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(9): 1273—1281
- [12] Leake J R, Ostle N J, Rangel-Castro J I. Carbon fluxes from plants through soil organisms determined by field $^{13}\text{CO}_2$ pulse-labelling in an upland grassland. *Applied Soil Ecology*, 2006, 33(2): 152—175
- [13] Katoh M, Murase J, Sugimoto A, et al. Effect of rice straw amendment on dissolved organic and inorganic carbon and cationic nutrients in percolating water from a flooded paddy soil: A microcosm experiment using ^{13}C -enriched rice straw. *Organic Geochemistry*, 2005, 36(5): 803—811
- [14] 窦森, 张晋京, 曹亚澄, 等. 用 $\delta^{13}\text{C}$ 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 $\delta^{13}\text{C}$ method (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 328—334
- [15] Angers D, Recous S, Aita C. Fate of carbon and nitrogen in water-stable aggregates during decomposition of $^{13}\text{C}^{15}\text{N}$ -labelled wheat straw in situ. *European Journal of Soil Science*, 1997, 48(2): 295—300
- [16] Covalada S, Pajares S, Gallardo J F, et al. Short-term changes in C and N distribution in soil particle size fractions induced by agricultural practices in a cultivated volcanic soil from Mexico. *Organic Geochemistry*, 2006, 37(12): 1943—1948
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 1—240. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 1—240
- [18] 慈恩, 杨林章, 马力, 等. 长期耕作水稻土的有机碳分布和稳定碳同位素特征. 水土保持学报, 2007, 21(5): 72—75. Ci E, Yang L Z, Ma L, et al. Distribution and stable carbon isotope character of organic carbon of paddy soils with long-term cultivation (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(5): 72—75
- [19] 刘启明, 王世杰, 朴河春. 稳定碳同位素示踪农林生态转换系统中土壤有机质的迁移和赋存规律. 环境科学, 2002, 23(4): 89—92. Liu Q M, Wang S J, Piao H C. The dynamics rules of soil organic matter of turnover ecosystems traced by stable carbon isotopes (In Chinese). *Chinese Journal of Environmental Science*, 2002, 23(4): 89—92
- [20] 吕殿青, 张树兰, 杨学云. 外加碳、氮对黄绵土有机质矿化与激发效应的影响. 植物营养与肥科学报, 2007, 13(3): 423—429. Lü D Q, Zhang S L, Yang X Y. Effect of supplying C and N on the mineralization and priming effect of organic matter in loessial soil (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(3): 423—429
- [21] 王志明, 朱培立, 黄东迈, 等. 秸秆碳的田间原位分解和微生物量碳的周转特征. 土壤学报, 2003, 40(3): 446—453. Wang Z M, Zhu P L, Huang D M, et al. Straw carbon decomposition in situ in field and characteristics of soil biomass carbon turnover (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 446—453
- [22] Hamer U, Marschner B. Priming effects in different soil types induced by fructose, alanine, oxalic acid and catechol additions. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(3): 445—454
- [23] Six J, Paustain K, Elliot E T, et al. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(2): 681—689
- [24] Smucker A, Park E J. Soil biophysical responses by macroaggregates to tillage of two soil types//Horn R, Fleige H, Peth S, et al. Soil management for sustainability. *Advances in Geocology*. Reiskirchen, Germany: Catena Verlag, 2006: 456—460
- [25] Verchot L V, Dutaur L, Shepherd K D, et al. Organic matter stabilization in soil aggregates: Understanding the biogeochemical mechanisms that determine the fate of carbon inputs in soils. *Geoderma*, 2011, 161: 182—193
- [26] Huang L, Wang C Y, Tan F W, et al. Distribution of organic matter in aggregates of eroded Ultisols, Central China. *Soil and Tillage Research*, 2010, 108(1/2): 59—67
- [27] Aoyama M, Angers D A, N Dayegamiyec A, et al. Metabolism of ^{13}C -labeled glucose in aggregates from soils with manure application. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(3): 295—300

DISTRIBUTION OF FRESH CARBON IN AGGREGATE FRACTIONS OF DIFFERENT SOIL TYPES

Lü Yuanchun^{1,2} Xue Lijia^{1,2} Yin Yunfeng^{1,2†} Gao Ren^{1,2} Ma Hongliang^{1,2} Yang Yusheng^{1,2}

(1 *State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China*)

(2 *College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China*)

Abstract Using the stable carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$) technique, an indoor incubation experiment was carried out to study the distribution of fresh carbon in soil aggregate fractions of red soil (Ferrisols), yellowish red soil (Luvisol) and mountain meadow soil (Cambisols). To trace dynamics of fresh carbon in soil aggregates ^{13}C -labelled rice straw was applied to the soils, which were then put under incubation at 25 °C for 360 days. Results show that the quantity of the fresh carbon found in soil aggregates followed a decreasing order of 250 ~ 2 000 μm > 50 ~ 250 μm > < 50 μm in all these soils, accounting for 56.8% ~ 59.6%, 25.9% ~ 28.7% and 11.7% ~ 17.3%, respectively, of the total applied into the soil, which further indicates that the added fresh carbon was mainly accumulated in large-sized soil aggregates.

Key words Fresh carbon; $\delta^{13}\text{C}$; Soil type; Soil aggregates

(责任编辑:檀满枝)