

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

刘启明^{1,2}, 王世杰¹, 朴河春¹, 欧阳自远¹ (1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了探讨土壤有机质在降解过程中的迁移、赋存规律, 利用 C_3 植物与 C_4 植物明显的 $\delta^{13}C$ 值差异, 选取贵州茂兰保护区内农林生态系统发生转换生长的地域, 分析土壤的不同粒径组分和比重组分中土壤有机质的 $\delta^{13}C$ 值。结果表明, 粗砂中的土壤有机质年代最新, 细粉中的土壤有机质年代最老, 有机质在降解过程中, 在土壤各粒径组分中的迁移次序是: 粗砂 < 细砂 < 粗粉 < 粘土 < 细粉; 土壤重组分中的有机质年代较老, 以降解充分、稳定的有机无机复合体为主, 相对而言, 轻组分中的有机质含有更多的降解尚不充分、活性较大的有机质。

关键词: 生态系统; $\delta^{13}C$ 值; 土壤有机质; 粒径组分; 比重组分

中图分类号: S153.6 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)04-04-0089

The Dynamics Rules of Soil Organic Matter of Turnover Ecosystems Traced by Stable Carbon Isotopes

Liu Qiming^{1,2}, Wang Shijie¹, Piao Hechun¹, Ouyang Ziyuan¹ (1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: On the basis of different photosynthetic pathway, there's obvious difference in $\delta^{13}C$ values between C_3 plants and C_4 plants. Use this characteristic, the $\delta^{13}C$ values in different size and density fractions of two profile soil samples either in farm land and forest lands near Maolan Karst virgin forest was analyzed, there plant C_3 plants previously and plant C_4 plants now. Results showed that the $\delta^{13}C$ values of different size fractions in forest soil were $\delta^{13}C_{\text{coarse sand}} < \delta^{13}C_{\text{fine sand}} < \delta^{13}C_{\text{coarse silt}} < \delta^{13}C_{\text{clay}} < \delta^{13}C_{\text{fine silt}}$, and the $\delta^{13}C$ values of different size fractions in farmland soil were $\delta^{13}C_{\text{coarse sand}} > \delta^{13}C_{\text{fine sand}} > \delta^{13}C_{\text{coarse silt}} > \delta^{13}C_{\text{clay}} > \delta^{13}C_{\text{fine silt}}$, it indicated that the soil organic matter was fresh in coarse sand and oldest in fine silt. The $\delta^{13}C$ values of different density fractions in forest soil were $\delta^{13}C_{\text{light}} < \delta^{13}C_{\text{heavy}}$, and the $\delta^{13}C$ values of different density fractions in farmland soil were $\delta^{13}C_{\text{light}} > \delta^{13}C_{\text{heavy}}$, it also indicated that the soil organic matter was fresh in light fractions and old in heavy fractions.

Keywords: ecosystem; $\delta^{13}C$ values; soil organic matter; size fractions; density fractions

近年来, 由于气候变异、人类活动等因素影响, 全球各生态系统间短期内正经历着前所未有的区域性转变, 由此导致的一系列生态环境问题如区域气候变迁、荒漠化、水土流失等广受关注, 而其中土壤有机质的变化起着极为关键的作用^[1,2]。欧美等国的学者率先利用稳定碳同位素方法, 探讨了本国生态系统转变时土地利用方式的不同所导致的土壤肥力变化情况^[3~6], 同时发现, 吸附于土壤的不同粒径组分和比重组分中的土壤有机质具有不同的活性, 土壤中的有机质的迁移变化和赋存状况完全取

决于其活性^[7]。本文在对贵州茂兰喀斯特原始森林保护区内农林生态系统发生转变时土壤有机质含量变化的研究基础上^[8], 进一步探讨土壤有机质总量减少的变化过程。

1 研究方法

工作区为贵州茂兰喀斯特原始森林边缘

基金项目: 国家自然科学基金项目(49833002 和 49772175); 中科院知识创新工程项目(KZCX2-105); 环境地球化学国家重点实验室创新领域项目

作者简介: 刘启明(1973~), 男, 江西瑞金人, 博士生, 主要研究方向为环境地球化学。

收稿日期: 2001-03-16; 修订日期: 2001-06-11

处,此区曾长期生长大片 C_3 植物常绿落叶、阔叶混交林木,近几十年,部分森林被砍伐,种植 C_4 植物玉米,从而在小区域内使土壤有机质的源物质产生从 C_3 植物到 C_4 植物的转变^[9]. 本实验于 1999 年底在工作区内瑶所附近选取 A、B 2 个小区,每个小区分森林、农田 2 个采样点,森林采样点代表原生的 C_3 植物生态系统,农田采样点代表次生的 C_4 植物生态系统. 每个采样点土壤分别取 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm, 40cm, 50cm 各层位土样. 本工作区土壤均为石灰土,土壤 pH 值随深度的增加而增加,在林地变化范围是 6.7 ~ 8.2 之间,农田变化范围是 6.6 ~ 7.7 之间. 将采集的土壤样品剔除掉其中的岩屑及大于 2mm 的植物碎片和根系,所有样品经风干后用 0.1 mol/L 稀盐酸去除土壤中无机碳,再将部分上层土样 (0 ~ 25cm) 用沉降法分离成粗砂 (2000 ~ 200 μ m)、细砂 (200 ~ 50 μ m)、粗粉 (50 ~ 20 μ m)、

细粉 (20 ~ 2 μ m)、粘土 (< 2 μ m) 5 个粒径组分. 另外部分上层 (0 ~ 20cm) 土壤以密度为 1.7g/mL 的 NaI 溶液为重液,将土壤分为重组分 (> 1.7g/cm³)、轻组分 (< 1.7g/cm³) 2 个比重组分. 土壤有机碳 $\delta^{13}C$ 值的测量先通过熔封石英管高温燃烧法获取 CO₂^[10],经酒精液氮法纯化处理后,用 MAT252 型质谱仪测定 CO₂ 气体的 $\delta^{13}C$ 值,采用 PDB 标准,测定误差优于 0.1 ‰, $\delta^{13}C$ 值由国际标准形式给出: $\delta^{13}C = (R_{\text{样}} - R_{\text{标}}) / R_{\text{标}} \times 1000 \text{ ‰}$ ($R = {}^{13}C/{}^{12}C$).

2 结果与讨论

2.1 土壤不同粒径组分中的土壤有机质

分别测出森林与农田土壤的 5 个粒径组分中土壤有机质的 $\delta^{13}C$ 值. 由图 1 可见,森林点 (A1、B1) 同一层位土壤的不同粒径组分的 $\delta^{13}C$ 值基本是粒径越大, $\delta^{13}C$ 值越趋于正,但细粉的 $\delta^{13}C$ 值又大于粘土,即 $\delta^{13}C_{\text{粗砂}} < \delta^{13}C_{\text{细砂}} < \delta^{13}C_{\text{粗粉}} < \delta^{13}C_{\text{粘土}} < \delta^{13}C_{\text{细粉}}$.

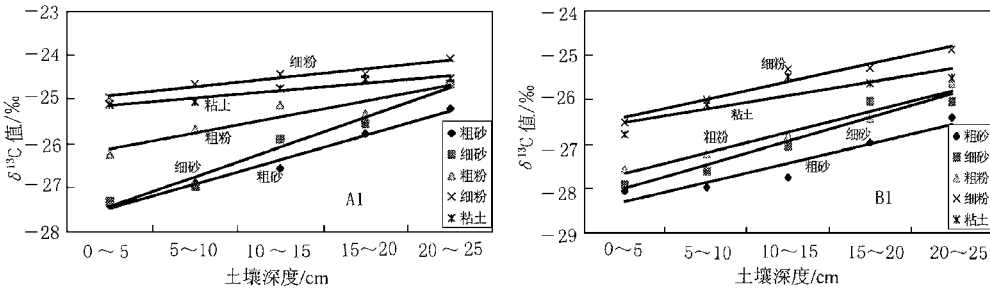


图 1 森林点不同深度土壤的不同粒径组分的 $\delta^{13}C$ 值

Fig. 1 The $\delta^{13}C$ values of different size fractions of soil in forest lands at different depths

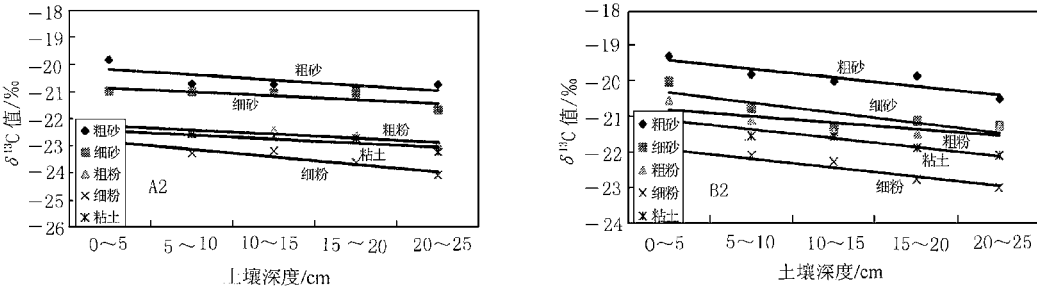


图 2 农田点不同深度土壤的不同粒径组分的 $\delta^{13}C$ 值

Fig. 2 The $\delta^{13}C$ values of different size fractions of soil in farms at different depths

农田点 (A2、B2) 同一层位土壤的不同粒径组分的 $\delta^{13}C$ 值大小表现为粒径越大, $\delta^{13}C$ 值越趋于负,但细粉的 $\delta^{13}C$ 值又小于粘土,即 $\delta^{13}C_{\text{粗砂}} > \delta^{13}C_{\text{细砂}} > \delta^{13}C_{\text{粗粉}} > \delta^{13}C_{\text{粘土}} > \delta^{13}C_{\text{细粉}}$ (图 2).

农田点土壤有机碳中源于 C_3 植物的组分 (SOC_3) 和源于 C_4 植物的组分 (SOC_4) 各占的百分比通过下式计算:

$$\delta = \delta_1 \cdot f + (1 - f) \cdot \delta_0$$

在本实验中 δ 为农田土壤样品的 $\delta^{13}C$ 值,

δ_0 为同一小区域内同一土壤层位的森林土样的 $\delta^{13}C$ 值, δ_1 取本地农作物玉米的叶、茎、根 $\delta^{13}C$ 值的平均值(- 11. 43 ‰), f 为 SOC_4 所占的比例. 计算结果列于表 1.

如表1所示,在农田点同一层位土壤的不

表 1 农田点 A2 (B2) 不同深度土壤的不同粒径 (μm) 组分中 SOC_3 、 SOC_4 各占百分比 / %

Table 1 The percentage of SOC_3 and SOC_4 of different size fractions of soil in farms at different depths

深度/cm	粗砂(2000~200)		细砂(200~50)		粗粉(50~20)		细粉(20~2)		粘土(<2)	
	SOC_4	SOC_3	SOC_4	SOC_3	SOC_4	SOC_3	SOC_4	SOC_3	SOC_4	SOC_4
0~5	48(49)	52(51)	39(45)	61(55)	31(41)	69(59)	27(31)	73(69)	29(38)	71(62)
5~10	36(43)	64(57)	33(37)	67(63)	24(35)	76(65)	17(28)	83(72)	22(32)	78(68)
10~15	29(39)	71(61)	27(32)	73(68)	16(29)	84(71)	11(23)	89(77)	14(28)	86(72)
15~20	26(42)	74(58)	26(32)	74(68)	11(31)	89(69)	4(22)	96(78)	10(28)	90(72)
20~25	28(37)	72(63)	23(29)	77(71)	13(30)	87(70)	5(19)	95(81)	11(26)	89(74)

同粒径组分中,从趋势上来看, SOC_3 所占总有机碳的比例随粒径的减少而增加,但是细粉与粘土则与总趋势相反,同一层位土壤的组分中 SOC_3 所占的比例均大于粘土中 SOC_3 所占的比例,在 5 个粒径组分中, SOC_3 占总有机碳的比例大小次序为:粗砂 < 细砂 < 粗粉 < 粘土 < 细粉.

在农田点 SOC_3 的年龄显然要大于 SOC_4 ,由此推测,将土壤有机质作为一个整体考虑,则土壤的不同粒径组分中的土壤有机质有如下年代上的新老关系:粗砂 < 细砂 < 粗粉 < 粘土 < 细粉.即粗砂中的有机质降解尚不够充分,新鲜

有机质 (SOC_4) 的输入较多,而细粉中所赋存的有机质降解最为充分,土壤有机质在降解过程中,在土壤的不同粒径组分间迁移分布的次序为:粗砂 → 细砂 → 粗粉 → 粘土 → 细粉.这一现象,国外学者通过放射性碳同位素定年法同样得到证实^[11].

2.2 土壤不同比重组分中的土壤有机质

森林点(A1、B1)同一层位土壤的重组分的 $\delta^{13}C$ 值要大于轻组分的 $\delta^{13}C$ 值,而农田点(A2、B2)同一层位土壤的重组分的 $\delta^{13}C$ 值要小于轻组分的 $\delta^{13}C$ 值(图 3).

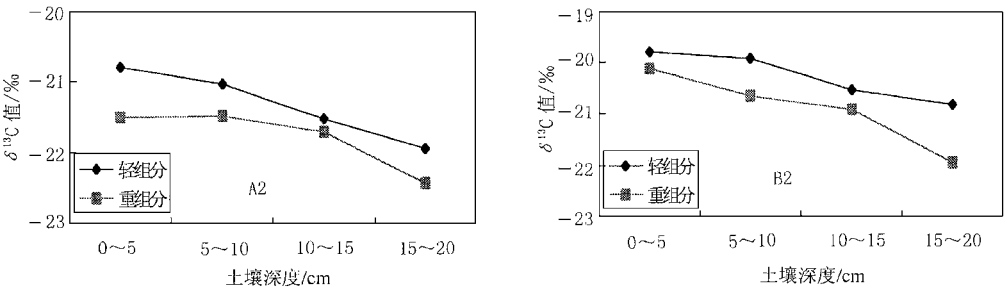


图 3 森林与农田点不同深度土壤的轻、重组分的 $\delta^{13}C$ 值

Fig. 3 The $\delta^{13}C$ values of different density fractions of soil in farms and forest lands at different depths

再根据公式计算出农田点每一层位土壤的 不同比重组分中 SOC_3 和 SOC_4 各占的比例.由

表2 可见,农田点同一层位土壤的重组分中SOC₃ 占总有机碳的比例要高于轻组分.同样可推断:土壤重组分中的有机质年代较老,以降解较为充分、稳定的有机无机复合体为主;土壤轻组分中的有机质虽然仍是SOC₃ 占大部分,但相对重组分而言,土壤轻组分中的有机质含有更多的降解尚不充分、活性较大的有机质.

表 2 农田点 A2 (B2)不同深度土壤的轻、重组分中 SOC₃、SOC₄ 各占百分比/ %

Table 2 The percentage of SOC₃ and SOC₄ of different density fractions of soil in farms at different depths

土壤深度 / cm	轻组分(<1.7g/cm ³)		重组分(>1.7g/cm ³)	
	SOC ₄	SOC ₃	SOC ₄	SOC ₃
0 ~ 5	40(46)	60(54)	36(44)	64(56)
5 ~ 10	33(42)	67(58)	30(38)	70(62)
10 ~ 15	23(35)	77(65)	20(33)	80(67)
15 ~ 20	17(36)	83(64)	13(36)	87(64)

3 结 论

在农林生态系统发生转换的地域,原森林点土壤有机质的 $\delta^3\text{C}$ 值随土壤深度的增加而增大,农田点土壤有机质的 $\delta^3\text{C}$ 值随土壤深度的增加而减小;森林土壤中各粒径组分 $\delta^3\text{C}$ 值的大小关系是 $\delta^3\text{C}_{\text{粗砂}} < \delta^3\text{C}_{\text{细砂}} < \delta^3\text{C}_{\text{粗粉}} < \delta^3\text{C}_{\text{粘土}} < \delta^3\text{C}_{\text{细粉}}$,农田土壤中各粒径组分 $\delta^3\text{C}$ 值的大小关系是 $\delta^3\text{C}_{\text{粗砂}} > \delta^3\text{C}_{\text{细砂}} > \delta^3\text{C}_{\text{粗粉}} > \delta^3\text{C}_{\text{粘土}} > \delta^3\text{C}_{\text{细粉}}$,说明粗砂中的土壤有机质年代最新,细粉中的土壤有机质年代最老,有机质在降解过程中,在土壤各粒径组分中的迁移次序是:粗砂→细砂→粗粉→粘土→细粉;森林土壤的轻、重组分 $\delta^3\text{C}$ 值的大小关系是 $\delta^3\text{C}_{\text{重}} > \delta^3\text{C}_{\text{轻}}$,农田土壤的轻、重组分 $\delta^3\text{C}$ 值的大小关系是 $\delta^3\text{C}_{\text{重}} < \delta^3\text{C}_{\text{轻}}$,说明土壤重组分中的有机质年代较老,以降解充分、稳定的有机无机复合

体为主,相对而言,轻组分中的有机质含有更多的降解尚不充分、活性较大的有机质.

参考文献:

1 Houghton R A. Balancing the global carbon cycle with terrestrial ecosystems. In: Zepp R G, Sonntag C. Eds. The role of non-living organic matter in the earth's carbon cycle. New York: John Wiley & Sons, 1995. 133 ~ 152.

2 Anderson D W. The role of non-living organic matter in soils. In: Zepp R G, Sonntag C. Eds. The role of non-living organic matter in the earth's carbon cycle. New York: John Wiley & Sons, 1995. 81 ~ 92.

3 Balesdent J, Mariotti A, Guillet B. Nature ¹³C abundance as a tracer for soil organic matter dynamics studies. Soil Biology and Biochemistry, 1987, **19**: 25 ~ 30.

4 Balesdent J, Mariotti A, Boissongtier D. Effect of tillage on soil organic mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields. Journal of Soil Science, 1990, **41**: 587 ~ 596.

5 Gregorich E G, Ellert B H, Monreal C M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural ¹³C abundance. Can. J. Soil Sci., 1995, **75**: 161 ~ 167.

6 Cadisch G H, Imhof U S, Boddey R M et al. Carbon turnover and nitrogen mineralization potential of particulate light soil organic matter after rainforest clearing. Soil Biology and Biochemistry, 1996, **28**: 1555 ~ 1567.

7 Christensen B T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary site and density separates. Advances in Soil Science, 1992, **20**: 1 ~ 90.

8 刘启明, 王世杰, 朴河春, 欧阳自远. 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.

9 周政贤主编. 茂兰喀斯特森林科学考察集. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987. 1 ~ 23.

10 Boutton J W et al. Comparison of quartz and pyrex tubes for combustion of organic samples for stable carbon isotope analysis. Analytical Chemistry, 1983, **55**: 1832 ~ 1833.

11 Anderson D W, Paul E A. Organo-mineral complexes and their study by radio carbon dating. Soil Sci. Soc. Am. J., 1984, **48**: 298 ~ 301.