

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

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: 为了观察生态系统的转变对土壤有机质的影响, 在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的地域, 分析了土壤有机质含量和土壤有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值. 森林点土壤有机碳含量普遍较高 (1.81% ~ 16.00%), 而农田点土壤有机碳含量在 0.43% ~ 2.22% 之间, 表明毁林造田加速了土壤有机质的降解, 使土壤有机质总量减少; 利用 C_3 植物与 C_4 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的显著差异, 对比森林点与农田点的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (森林点: -23.86‰ ~ -27.12‰; 农田点: -19.66‰ ~ -23.26‰), 计算表明, 毁林造田同时也降低了土壤有机质中活性大的组分的比例, 使土壤肥力下降.

关键词: 生态系统; 土壤有机质; $\delta^{13}\text{C}$ 值

中图分类号: S153.6 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)03-04-0075

Soil Organic Matter Changes 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 $\delta^{13}\text{C}$ values between C_3 plants and C_4 plants. Use this characteristic, the organic carbon content (forest lands: 1.81% ~ 16.00%; farms: 0.43% ~ 2.22%) and $\delta^{13}\text{C}$ values (forest lands: -23.86‰ ~ -27.12‰; farms: -19.66‰ ~ -23.26‰) of three profile soil samples either in farms and forest lands near Maolan Karst virgin forest was analyzed, there plant C_3 plants previously and plant C_4 plants now. Results show that clearing forest have accelerated the decompose rate of soil organic matter and decreased the proportion of active-component in soil organic matter, reducing of soil fertility.

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

生态转换系统中土壤有机质的变化, 与土壤的初级生产力和温室气体的释放有着紧密的关系. 同时, 它们也是目前持续农业的发展和全球环境变化的研究内容之一^[1,2]. 过去, 在毁林(草)造田等生态系统发生转变的地域, 相关的研究工作仅侧重于从土壤有机质的总量上考虑, 这存在一定的片面性, 因为耕作影响了土壤有机质输入与输出的量^[3]. 自 Balesdent(1987)等^[4]在法国西南部 Auzeville 和 Doazit 两地在长期观测积累的数据基础上开展工作后, 应用 $\delta^{13}\text{C}$ 值来研究土壤有机质的实验研究工作才逐渐开展. 不同的地理背景、不同的土地利用方

式, 导致生态系统转变时土壤的肥力减少方式不同, 有的几十年后土壤的有机质还可以为庄稼提供所需的营养物, 如北美草地系统转变为农田系统^[5]与法国西北部温带林地系统转变为农田系统^[6]; 有的经过农业开垦利用几年后, 土壤有机质几乎被利用完, 如巴西热带生态系统中的氧化土^[7]. 在我国西部地区, 过去为了解决

基金项目: 国家自然科学基金项目(49833002, 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

粮食问题,毁林(草)造田的作法相当普遍,但研究程度却很低.本文以国家级自然保护区——茂兰喀斯特原始森林为例,通过分析土壤有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,结合土壤有机质的含量,探讨农林生态系统的转变对土壤有机质的影响.

1 研究方法

实验工作点茂兰喀斯特原始森林国家自然保护区,位于贵州省荔波县境内黔桂交界处,属中亚热带季风性气候带,年均气温 $15.3\text{ }^\circ\text{C}$,年降水量 1700 mm .近几十年,保护区边缘处部分森林被砍伐,种植农作物,导致在小区域内产生了农林生态系统的转变^[8].本实验于 1999 年底在茂兰保护区边缘处的瑶所附近选取 A、B、C 3 个小区域,每个小区域各分森林、农田 2 个采样点,森林采样点代表原生的森林生态系统,农田采样点代表次生的农田生态系统.每个采样点分别取 5 cm 、 10 cm 、 15 cm 、 20 cm 、 25 cm 、 30 cm 、 40 cm 、 50 cm 、 60 cm 、 70 cm 各层位土样(森林点土层较薄,只采集至 50 cm).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 $6.7\sim 8.2$ 之间,农田变化范围是 $6.6\sim 7.7$ 之间.将采集的土壤样品剔除掉其中的岩屑及大于 2 mm 的植物碎片和根系,经风干后碾磨成 $< 2\text{ mm}$ 颗粒,再用 0.1 mol/L 稀盐酸

去除土壤无机碳.土壤有机碳的含量用 PE2400-II 型元素分析仪测量,测量误差 $< 0.1\%$.土壤有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值的测量先通过熔封石英管高温燃烧法获取 CO_2 ^[9],经酒精液氮法纯化处理后,用 MAT252 型质谱仪测定 CO_2 气体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,采用 PDB 标准,测定误差 $\pm 0.1\%$. $\delta^{13}\text{C}$ 值由国际通用标准形式给出: $\delta^{13}\text{C} = (R_{\text{样}} - R_{\text{标}}) / R_{\text{标}} \times 1000\text{ }^\circ\text{‰}$ ($R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$).

2 结果与讨论

2.1 土壤有机碳含量

森林点(A1、B1、C1)土壤与农田点(A2、B2、C2)土壤的有机碳含量存在显著的差异.对于同一小区域相邻的森林、农田采样点,土壤中有机碳含量明显高于农田点,森林点有机碳含量基本在 2% 以上,最高甚至达 16% ,而农田点土壤有机质的含量普遍低于 2% ,并且森林点土壤有机碳百分含量随深度的变化呈指数关系下降,而农田点则呈线性关系下降(图 1).说明在森林点土壤有机质处于一个正在进行降解的状态,即降解速率较慢,且有新的有机质加入补充;而农田点土壤有机质是处于降解较充分的状态,即降解速率较快,新的有机质补充少,土壤有机质已建立了一种新的平衡,但这种平衡仅是在低有机质含量基础上建立的.

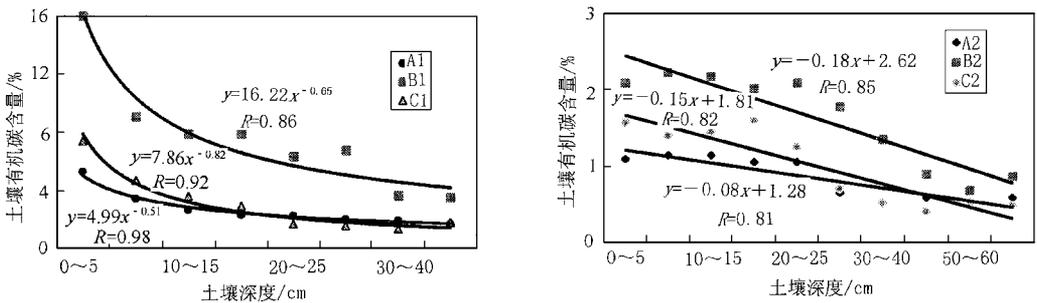


图 1 森林与农田点不同深度处土壤有机碳的百分含量

Fig. 1 The percentage of soil organic carbon in forest lands and farms at different depths

农林生态系统发生转变后,造成农田点比森林点土壤有机质含量低,降解速度加快的原因,可能是以下几个因素共同作用的结果:①农田点经常施放无机肥(Ca、N、P等),N、P能增加微生物的活性以及土壤中营养成分的可利用性,从而加速土壤有机质的降解,对Ca而言,能

与有机质结合形成稳定的腐殖酸钙,可起稳定土壤中有机的作用,但增加钙能导致(水合)氧化铝含量的降低,而后者对稳定土壤有机质所起的作用要大于前者^[10];②土壤的团聚结构对土壤有机质起物理保护的作用,人工耕种使土壤的干湿交替频繁,增大土壤的通气性,并且

在每年作物收割后有一段的时间土壤无上覆植物的保护,直接裸露于日晒雨淋之中,这样对土壤的团聚结构破坏很大;③森林土壤中存在大量的蚯蚓及其它环节动物,蚯蚓在吞食有机碎片的同时也咽下大量的无机土粒,通过蚯蚓肠道内粘液的作用增加腐殖质并且与无机土粒紧密结合,因此对土壤有机质起保护作用^[11].而农田中蚯蚓数量明显较少,对土壤有机质的保护能力也随之减弱.

2.2 土壤有机碳的 $\delta^{13}C$ 值

在森林采样点,对于源于 C_3 植物的土壤有机碳的 $\delta^{13}C$ 值表现为随土壤深度的增加,土壤有机碳的 $\delta^{13}C$ 值趋于正值(图 2),一方面这是

由大气 CO_2 的 Suess 效应导致的^[12],另一方面也受土壤微生物对土壤有机质降解的影响^[13],但两者对土壤有机碳 $\delta^{13}C$ 值共同作用的效果不超过 3 ‰.农田是在原有森林基础上开垦的,土壤有机质既有源于 C_3 植物的组分(SOC_3),又有源于 C_4 植物的组分(SOC_4),测得的土壤有机碳的 $\delta^{13}C$ 值受两者的共同影响. C_3 植物和 C_4 植物的 $\delta^{13}C$ 值差异^[14,15](C_3 : - 27 ‰ ~ - 40 ‰, C_4 : - 8 ‰ ~ - 19 ‰,两者之间的平均差异 > 15 ‰)远大于如上所述因微生物、大气 CO_2 等因素影响的变化(平均 < 3 ‰),所以随土壤深度的增加,农田点土壤有机碳的 $\delta^{13}C$ 值减小(图 2).

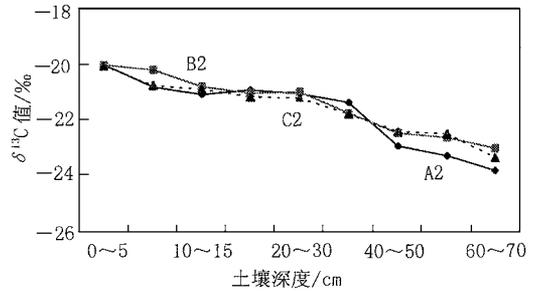
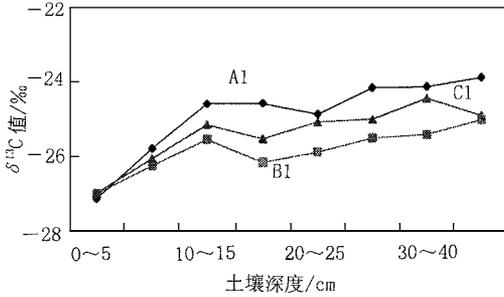


图 2 森林与农田点不同深度处土壤有机碳的 $\delta^{13}C$ 值

Fig. 2 The $\delta^{13}C$ values of soil organic carbon in forest lands and farms at different depths

2.3 农田土壤有机碳中 SOC_3 、 SOC_4 的含量

农田土壤有机碳中 SOC_3 和 SOC_4 的含量可用公式计算: $\delta = \delta_1 \cdot f + (1 - f) \cdot \delta_0$ 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.

表 1 农田点不同深度土壤的 $\delta^{13}C$ 值(‰)及 SOC_3 、 SOC_4 各占比例/ %

Table 1 The $\delta^{13}C$ values and percentage of SOC_3 and SOC_4 of soil organic carbon in farms at different depths

深度 / cm	A2 点			B2 点			C2 点		
	$\delta^{13}C$	SOC_4	SOC_3	$\delta^{13}C$	SOC_4	SOC_3	$\delta^{13}C$	SOC_4	SOC_3
0 ~ 5	- 20.02	45	55	- 19.66	47	53	- 20.75	40	60
5 ~ 10	- 20.81	35	65	- 20.79	37	63	- 21.04	34	66
10 ~ 15	- 20.86	28	72	- 21.01	32	68	- 21.75	25	75
15 ~ 20	- 20.90	25	75	- 20.19	39	61	- 20.05	33	67
20 ~ 25	- 21.02	27	73	- 20.97	34	66	- 20.13	32	68
25 ~ 30	- 21.35	22	78	- 20.78	33	67	- 20.29	32	68
30 ~ 40	- 22.51	13	87	- 21.73	26	74	- 20.67	28	72
40 ~ 50	- 23.26	5	95	- 22.28	19	81	- 22.12	19	81

农林生态系统转变后,经过一段时间的耕种,农田中土壤有机质的源物质已发生变化,但是土壤有机质中的大部分仍是原先森林留下

来的,农作物的补充量很少:在土壤表层 SOC_4 的含量基本在 30 % ~ 40 % 之间,在土壤深层, SOC_4 的含量只有 10 % ~ 30 % 甚至低于 10 %

(图3)。

说明农林生态系统的转变,导致土壤中源于 C_3 植物的有机质中大量容易矿化的组分降解,剩余下的少量有机质属于稳定的组分,它会在自然体系中持久保留,但只起着保持土壤结构的作用,不能作为植物生长的养分,与此同时,农田中新鲜植物残留物的补充量很少,使得土壤有机质中源于 C_4 植物的有机质只占总量的一小部分,不足以使土壤保持足够的肥力。

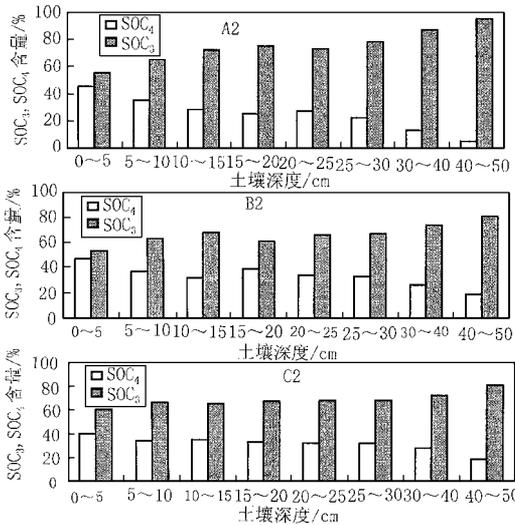


图3 农田点不同深度土壤有机质中SOC₃、SOC₄的百分比

Fig.3 The percentage of SOC₃ and SOC₄ of soil organic carbon in farms at different depths

3 结论

农林生态系统的转变对土壤有机质的影响较大,一方面加速了土壤有机质的降解,使土壤有机质总量减少,另一方面降低了土壤有机质中活性大的组分的比例,使得土壤肥力下降,应该提倡施加农家肥(绿肥)和保留秸秆等田间作物废弃物来增加农田土壤有机质的含量,恢复土壤肥力,进而改善农业生态环境的耕作方式。在土壤学界,尤其是国内,根据 $\delta^{13}C$ 方法判断土壤有机质的来源和变化的报道尚不多见,土壤中有有机质的分解,有的成分短短几小时即已完成,有的成分却可长达几个世纪,具极不均匀性,由此看来,以有机质的具体组成、结构为研究对象来探讨土壤有机质总量的变化规律,难度较大,引进稳定碳同位素,将土壤中的有机质

作为一个总体对待,显然,相对于“土壤对大气CO₂的贡献”等问题,这样做会比前者更有实际意义,在区分土壤的稳定有机碳库和易变有机碳库,示踪土壤营养物质和能量碳的流动研究中, $\delta^{13}C$ 方法也不失为一条有效的途径。

参考文献:

- 1 Syers J K, Craswell E T. Role of soil organic matter in sustainable agricultural systems. In: Lefroy R D B, Blair G T, Craswell. Soil organic matter management for sustainable agriculture. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995. 7~14.
- 2 Houghton J 著,戴晓芳等译. 全球变暖. 北京:气象出版社,1998. 2~6.
- 3 Balesdent J, Mariotti A, Boisgontier D. Effect of tillage on soil organic mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields. Journal of Soil Science, 1990, 41: 587~596.
- 4 Balesdent J, Mariotti A, Guillet B. Nature ^{13}C abundance as a tracer for soil organic matter dynamics studies. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19: 25~30.
- 5 Follett R F, Paul E A, Leavitt S W et al. Carbon isotope ratios of Great Plains soil and in wheat-fallow systems. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61: 1068~1077.
- 6 Arrouays D, Pelissier P. Changes in carbon storage in temperate humic loamy soils after forest clearing and continuous corn cropping in France. Plant Soil, 1994, 160: 215~223.
- 7 Fearnside P M, Barbosa R I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. Forest Ecology and Management, 1998, 108: 147~166.
- 8 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.
- 9 Boutton T W, Wong W W, Hachey D L et al. Comparison of quartz and pyrex tubes for combustion of organic samples for stable carbon isotope analysis. Analytical Chemistry, 1983, 55: 1832~1833.
- 10 Boudot J P, Brahim A, Steimen R et al. Biodegradation of synthetic organo-metallic complexes of iron and aluminium with selected metal to carbon ratio. Soil Biology and Biochemistry, 1989, 21: 561~966.
- 11 Martin A. Short and long-term effects of the endogeic earthworm millsonia anomala (*Megascolecidae*, *oligochaeta*) of tropical savannas, on organic matter. Biol. Fert. Soils, 1991, 11: 234~238.
- 12 Friedli H, Lotscher H, Oeschger H et al. Ice core record of the $^{13}C/^{12}C$ ratio of atmospheric CO₂ in the past two centuries. Nature, 1986, 324: 237~238.
- 13 Sparing G P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. Aust. J. Soil Res., 1992, 30: 195~207.
- 14 Smith B N, Epstein S. Two categories of $^{13}C/^{12}C$ ratios for higher plants. Plant Physiol., 1971, 47: 380~384.
- 15 Cerling T E. The stable isotopic composition of modern soil carbonate and its relationship to climate. Earth and Plant Sci. Lett., 1984, 71: 229~240.