

文章编号: 1000-0550(2008) 01-0151-07

珠江水体悬浮物碳稳定同位素组成与 流域土壤侵蚀研究¹

魏秀国^{1, 2, 3} 沈承德² 孙彦敏² 易惟熙²

(1 广东省生态环境与土壤研究所 广州 510650; 2 中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640;

3 广东商学院旅游与环境学院 广州 510320)

摘要 以珠江流域水体悬浮物为研究对象,对其碳稳定同位素组成 ($\delta^{13}\text{C}$)及颗粒有机碳 (POC)的含量进行了测定和研究。结果表明: 河流悬浮物同位素组成与珠江流域植被分布格局、土壤有机质密切相关; 珠江悬浮物碳同位素组成主要受 C_3 植被影响,其中,西江悬浮物碳同位素组成表现出较强的 C_4 植被特征。东江水体悬浮物碳同位素组成在洪水季节表现出较强的 C_4 植被特征,其它季节则表现出 C_3 植被特征; 北江水体悬浮物碳同位素组成无明显的 C_4 植被特征。东江悬浮物样品 $\text{POC}\delta^{13}\text{C}$ 值呈逐年上升趋势,与近年来流域内植被破坏和土壤侵蚀加剧相对应,并显示其侵蚀程度超过西江流域。

关键词 珠江 水体悬浮物 $\delta^{13}\text{C}$ 土壤侵蚀

第一作者简介 魏秀国 男 1971 年出生 博士 副教授 河流碳循环与流域侵蚀、生态环境保护 E-mail xgwei2007@163.com

中图分类号 P597⁺.2 **文献标识码** A

早在 20 世纪 60~70 年代, Sackett 等^[1]、Hunt^[2]、Meyers 等^[3]、Shultz 等^[4] 就以碳稳定同位素方法,对河口沉积环境中颗粒物来源进行了研究。80 年代, Hedges 等^[5-6]、Richey 等^[7]、Bird 等^[8] 对亚马逊河沉积物碳同位素开展了系统的研究工作。后来又有学者陆续发表了有关河流沉积物碳同位素组成季节变化、流域分布特征,以及人类活动对流域影响的研究报告^[9-21]; 还有学者利用碳同位素方法,研究河口地区水体中的食物网关系、污染物的来源,以及水体的富营养化等问题^[22-24]。国内河流悬浮物碳同位素的示踪研究较少,但已引起重视,目前只见到对长江、黄河、珠江、双台子河等河口区的少量研究报告^[25-34]。

珠江流域作为我国最大、最完整的亚热带地理区,其河流碳通量已做了研究^[35-38],但对水体悬浮物来源及其有机碳稳定同位素示踪研究尚少。本文在前期工作的基础上^[39-41],试图通过碳稳定同位素方法,获取珠江流域植被分布格局、土壤侵蚀、河流悬浮物与环境变化关系的信息。本项研究对预测流域内未来环境变化以及流域开发过程的影响有重要的理论和实际意义,也可为流域水土流失治理提

供参考,为全球河流碳循环研究的综合和集成做出贡献。碳同位素研究还将对陆地碳库中碳的周转速率的确定、流域植被和全球环境变化研究,提供技术支持。

1 流域概况

珠江水系主要由西江、北江和东江等支流组成,流域属湿热多雨的热带、亚热带气候,并受季风气候影响。流域内降水集中于 4~9 月份,约占全年降水量的 80%; 而 7~9 月则占全年降水的 60%; 10 月~次年 3 月为干旱季节,降水只占全流域年径流量的 20% 左右。流域内以山地和丘陵为主,主要有红壤、砖红壤、砖红壤性红壤、石灰土等。流域植被类型,西江以常绿季雨林、阔叶林以及草地为主; 北江以常绿阔叶林为主; 东江以常绿阔叶林和松树为主,森林破坏后,代之而起的是广大的草坡地以及农田系统。流域内土地利用以农业为主,属粗放型经营,并且中上游地区农田多为坡耕地^[42]。西江、东江流域由于受森林砍伐、土地开发、道路建设等人类活动的影响,部分地区土壤侵蚀现象严重。

¹ 国家自然科学基金(批准号: 40231015, 40601092)、广东省科技攻关项目(2004B50201013)、中国博士后科学基金(20060390621)、广东省科学院和广东省生态环境与土壤研究所青年人才基金、华东师范大学河口海岸国家重点实验室开放基金(200502)资助。

收稿日期: 2007-02-14 收修修改稿日期: 2007-07-10

2 样品采集和实验方法

2.1 样品采集

本工作以东江博罗、西江马口、北江河口等水文站为悬浮物采样地点,于2000~2001水文年度,按水文季节采集水体样品,共采样4次。此外,还收集到博罗河段1990~1999年10年悬浮物样品,以及马口河段1999年1~12月所有月份的悬浮物样品。本研究在采样时,将河流断面分为上、中、下三个层面和左、中、右三条垂线,上层取样点距水面0.5m,中层取样点在河中间水深处,下层取样点距河底0.5m,共取9个水样,每个水样约6L。样品在采集当天用0.45 μm 的醋酸纤维滤膜过滤,所获悬浮物用于有机碳含量及碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$)等的测定。

2.2 实验方法

将烘干的悬浮颗粒样,在玛瑙研钵中研磨至200目,取约80mg试样,加入20%的HCl溶液,除去样品中的碳酸盐。试样中的有机碳在800 $^{\circ}\text{C}$ 高温条件下氧化生成 CO_2 ,经液氮、干冰、丙酮冷阱纯化,最后通过微压力计测定 CO_2 含量,进而计算颗粒有机碳(POC)含量。所有样品的稳定碳同位素组成,均由中国科学院地球环境研究所MAT-251质谱仪测定,测量精度为 $\pm 0.2\%$ 。悬浮物含量采用称重法测定。

3 结果与讨论

3.1 POC $\delta^{13}\text{C}$ 值与流域植被和土壤的关系

河流悬浮物POC $\delta^{13}\text{C}$ 值依赖于 C_3 、 C_4 植被的组成以及流域内的土壤。珠江水体2000~2001年度悬浮物颗粒有机碳稳定同位素组成及有机碳含量分析结果(图1)。由图1可见,西江马口断面水体悬浮物有机碳稳定同位素比值波动幅度较小,一般介于 -20.2% ~ -24.1% 之间(图1a);北江悬浮物 $\delta^{13}\text{C}$ 值介于 -22.0% ~ -26.4% 之间(图1b);东江悬浮物 $\delta^{13}\text{C}$ 值波动幅度较大,离散程度较高,一般介于 -21.4% ~ -27.2% 之间(图1c)。西江流域森林植被面积占22.6%,耕地面积占8.7%,荒山荒地等草类植被面积占34.8%;北江流域森林植被面积占46.6%,耕地约占9.6%,荒山荒地草坡地等占15.2%;东江流域森林植被面积占46.9%,耕地约占9.7%,草坡等荒地占13.8%(2000年珠江流域相关区域统计年鉴资料计算)。调查还发现,珠江流域草类植被中, C_3 种类约占70~80%; C_4 种类约占20~30%;CAM植物所占比例极少。农田系统中以水稻、

玉米、大豆、甘蔗等作物为主。在各个流域内,水稻面积远超出其它各类作物的面积, C_3 类作物的面积占60%稍强。综合估算表明,西江流域 C_3 植被分布面积约占52.6%~54.9%之间;北江流域 C_3 植被分布面积约占60.2%~61.6%之间;东江流域 C_3 植被分布面积约占65.3%~66.7%之间。这些数值说明:珠江水体悬浮物受 C_3 植被的影响为主;西江流域由于 C_4 草类植被面积分布较广,因此西江比北江、东江受 C_4 植被的影响更大些,其悬浮物POC同位素组成也表现出更明显的 C_4 植被特征。

作者所在小组对西江干流亚热带地区多个森林土壤剖面进行了样品采集,同时完成了有机碳含量及其 ^{14}C 、 ^{13}C 等多项测定和研究。研究表明五棵松(海拔315m)、庆云寺(海拔190m)、坑口(海拔42m)剖面,土壤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化均可分成2段:表面至40cm段,对应着土壤发生层A和A/B层,其土壤POC $\delta^{13}\text{C}$ 值范围分别为 -27.4% ~ -24.1% 、 -27.5% ~ -22.2% 和 -24.4% ~ -20.1% ,有机碳含量变率大,有机质由“活动型”有机碳构成。随着深度的增加, $\delta^{13}\text{C}$ 值亦渐增并达到某一最大值;约40~160cm段,有机碳及 $\delta^{13}\text{C}$ 值趋于稳定,有机质由“稳定型”有机碳构成。剖面有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值不但可用于 C_3 、 C_4 植被之区分,还可用于阔叶林、针叶林等植被类型之区分^[43,44]。

土壤有机质多数来自植物残留物,其 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值对土壤有机质的碳稳定同位素组成有直接影响。珠江悬浮物同位素组成,同时受植被和土壤有机质 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值的影响。珠江流域中下游地区的天然 C_3 植物,如黄果厚壳桂、木荷、云南银柴、马尾松、桃金娘、华润楠等树种的碳同位素组成在 -25% ~ -34% 之间,大多数在 -28% 左右;莎草科、禾本科、百合科、藜科等 C_4 代表性植物的同位素组成在 -9% ~ -18% 之间,大多数在 -11% 左右^[45,46]。从图2可见,珠江悬浮物的碳同位素组成与土壤有机质的碳同位素组成更接近,并且接近 C_3 类型植被同位素比值^[40]。北江与西江水体悬浮物碳同位素值相比,其悬浮物碳同位素值更“负”,更接近 C_3 植被类型的同位素比值。但洪水季节,东江水体悬浮物碳同位素组成相对偏“正”,其极端值甚至可达 -17.6% ,表现出明显的 C_4 植被特征;其它季节则相对偏“负”,平均值分别为 -23.3% 、 -23.7% 、 -25.7% ,表现出较强的 C_3 植被影响特征。

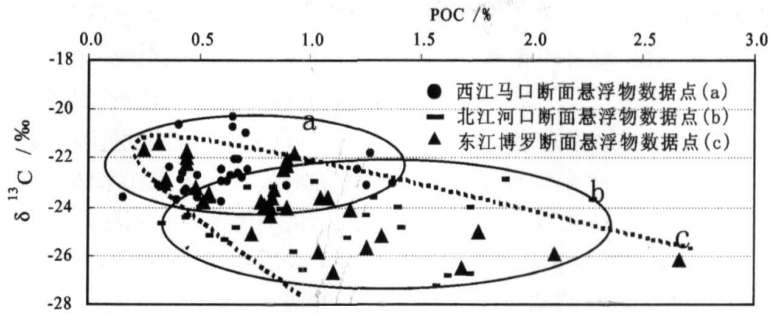


图 1 珠江水体悬浮物颗粒有机碳含量与 $\delta^{13}C$ 值关系

Fig 1 The correlation of POC content and $\delta^{13}C$ value of suspended matter Zhujiang River

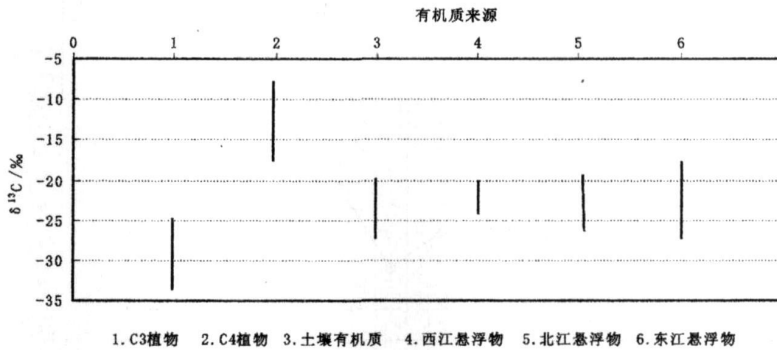


图 2 珠江流域植被、土壤有机质、河流悬浮物有机碳同位素分布范围

Fig 2 The stable carbon isotope composition of vegetation, soil and riverine suspended matter Zhujiang drainage basin

3 2 悬浮物 POC 同位素组成与流量的关系

珠江流域受季风气候的影响, 降水集中于夏季。以西江 1999 年为例, 6~ 9 月, 河流悬浮物浓度、河水流量、流速均达到一年中的高值, 最大值在 7 月份。在此期间, 悬浮物含量为 511.5 mg/l 流量为 26800 m³/s 流速为 2.15 m/s 1~ 3 月及 12 月份, 悬浮物含量、流速、流量均最小。对西江马口断面 1999 年全年不同月份悬浮物样品的碳稳定同位素分析显示, 其值介于 -24.8‰ ~ -22.3‰ 之间, 最高值在 7 月份, 为 -22.3‰ 最低值在 12 月份, 为 -24.8‰。整体上看, 在径流量较大时的 7~ 9 月份, $\delta^{13}C$ 值偏高; 而在径流量较小的 1、2 月份以及 11、12 月份, $\delta^{13}C$ 值偏低。西江水体中颗粒有机碳稳定同位素值, 随悬浮物含量、河流的流速、流量的增大或减小, 而相应地升高或降低, 表现出较强的相关性。相关方程为 $y_{mk} = -19.745 - 113.035x_1 + 0.024x_2$ ($R^2 = 0.76$ $n = 12$), 其中, y_{mk} 表示悬浮物含量, x_1 为河流流速, x_2 为河流流量。河流悬浮物含量、流速、流量等又受流域降水地控制^[9], 因此, 水体中颗粒有机碳稳定同位素值与径流量存在较好的对应关系; 而径流量又是流域降水所决定, 所以说颗粒有机碳稳定同位素值与对流域降

水存在较好的对应关系 (图 3)。地下水的淋溶作用、地表径流冲刷引起的土壤侵蚀等, 将大量的土壤有机质携带进入河流, 因此, 悬浮物 POC 同位素组成与流域水文过程关系密切。基于此, 在下一步工作中可以考虑根据流域水文过程预测未来河流碳通量大小, 并以碳通量的大小判断流域土壤侵蚀程度。

河流中的有机质含量与地下水溶解、地表淋溶、地表冲刷侵蚀等过程有关。在研究工作中, 有时可能难于同时对河流流速、TSS 和碳通量进行观测。在此, 可以充分利用河流悬浮物与河流流速、流量之间的线性关系模型, 利用河流某断面的碳通量进行推算。本研究的模型为此提供了可能性。

3 3 POC 同位素组成与流域土壤侵蚀

对东江博罗断面水体 1990—1999 年间的悬浮物样品进行碳稳定同位素测定, 每个水文年只选取有代表性的水文季节, 即丰水期 (河水径流量最大)、枯水期 (径流量最小) 以及平水期 (平均值) 时所对应的悬浮物样品, 分析结果见图 4 图中 $\delta^{13}C$ 值范围在 -26.1 ~ -17.8‰ 之间, 最低与最高差值达 -8.3‰; 根据对数据的多阶滑动平均值的统计分析, $\delta^{13}C$ 值与时间呈正相关 ($R^2 = 0.842$ $n = 25$), $\delta^{13}C$ 值呈逐年上升趋势。

通过对东江流域自然植被状况的调查发现,近十年间东江流域,尤其是中下游地区,森林覆盖率下降,土壤侵蚀加剧,侵蚀量逐年增加^[47, 48](图 4)。而 1990~1999 年间,正是该区域经济加速发展,资源超强度开发利用的时期。其中,1990 年东江流域森林覆盖率为 53.2%,土壤侵蚀较重的区域面积约为 1757.1 km²^[49];1993 年森林覆盖率为 51.9%;1996 年森林覆盖率为 50.2%;1999 年森林覆盖率为

47.6%,土壤侵蚀较重的区域面积增加,大约为 2578.9 km²(根据 1999 年东江流域相关区域统计年鉴资料计算)。河流悬浮物碳同位素值升高,与流域内、特别是中下游地区土壤侵蚀加重、水土流失面积增加对应。基于东江水体悬浮物颗粒 $\delta^{13}\text{C}$ 值在丰水期偏高的事实,可以认定,土壤侵蚀汇入水体的物质除了表层物质之外,肯定还混入了一些较深部位土壤的物质。

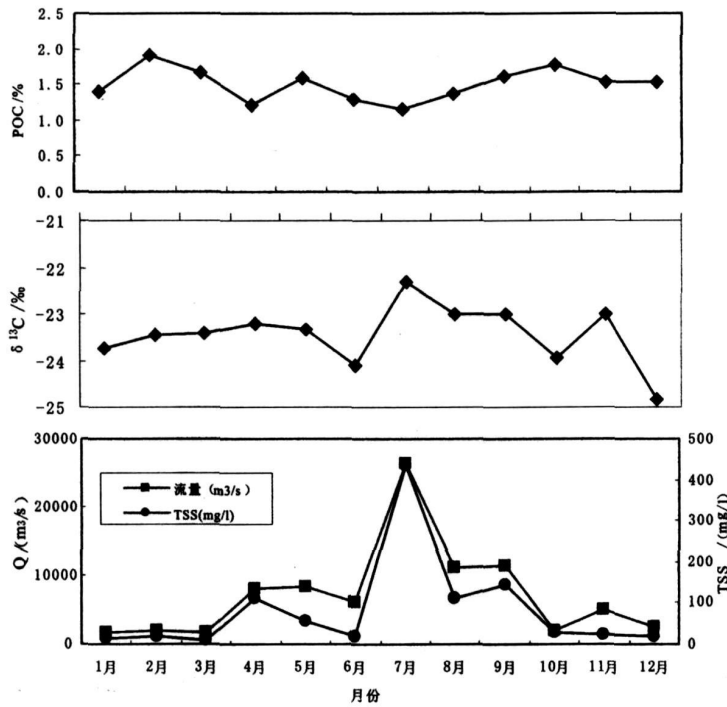


图 3 1999 年西江马口断面悬浮物 $\delta^{13}\text{C}$ 值、流量 (Q)、悬浮物 (TSS) 含量的月变化

Fig. 3 Monthly change of POC $\delta^{13}\text{C}$ of suspended sediment discharge and TSS content of Makou section, Xijiang River in 1999

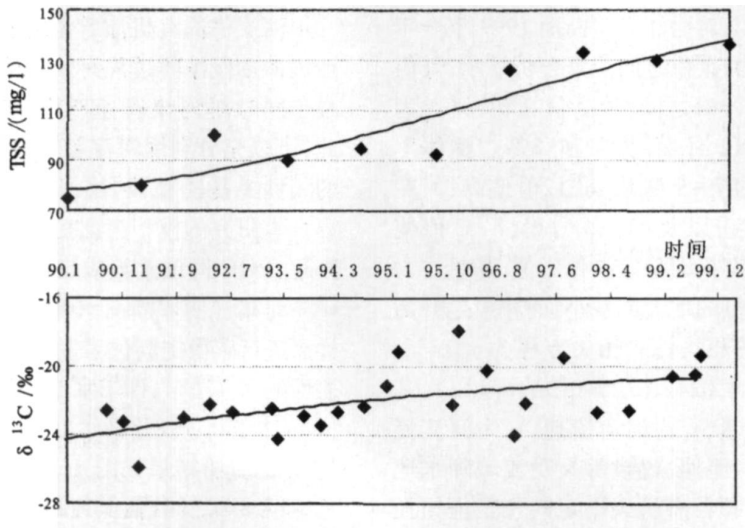


图 4 10 年间东江博罗断面水体悬浮物含量及 POC $\delta^{13}\text{C}$ 变化趋势

Fig. 4 The change trend of suspended matter content, POC $\delta^{13}\text{C}$ value of the Boluo section, Dongjiang River in recent ten years

珠江悬浮物颗粒有机碳同位素值在不同季节的变化,也反映了流域土壤侵蚀不同的季节差异。高泄水量期间 POC 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高(见图 3),反映出由于地表径流急剧增加,而使得远离河岸的 C_4 植物来源的有机碳含量迅速增加,因而导致其悬浮物碳同位素组成偏重,特别是在中下游地区,草地、农田系统所占比例较高,这种情况更为明显;平水期、枯水期河流悬浮物负荷很低,这反映了流域较低的土壤侵蚀率,其水土流失量也低。根据现有数据(表 1),西江悬浮物含量比东江高,但波动小,表明虽然东江流域森林覆盖率较高,但其流域洪水季节土壤侵蚀状况比西江流域更为严重,从而致使东江悬浮物 $\text{POC}\delta^{13}\text{C}$ 值波动幅度远超过西江。这是由于不同流域的岩性不同^[42],其地表土壤的抗侵蚀能力也存在差异。

表 1 2000 年珠江不同站位、月份水体悬浮物含量 (mg/kg)
Table 1 Suspended matter content in different months and gauge station of Zhujiang River; in 2000 (mg/kg)

月份	博罗	马口	河口
1	8.5	178	81
2	8.5	177	86
3	8.5	160	79
4	34	131	180
5	7.5	189	126
6	134	200	130
7	142	194	114
8	42	452	58
9	35.5	194	61
10	12.8	39	24
11	18	65	40
12	10	60	53

文献记录和本研究的数据表明,珠江流域的森林覆盖率减少、土壤侵蚀增强、河流悬浮物增加(珠江博罗、河口、马口水文站历年观测资料)(图 4),流域环境状况趋于恶化。另外,本研究中提供的悬浮物有机碳稳定同位素组成数据,仅能反映过去几十年的植被组成和环境变化,而要了解流域长期的环境变化信息^[50],还需对沉积物中不同沉积序列的有机质碳同位素组成进行分析,这有待进一步的工作。

4 结论

(1) 河流悬浮物有机质碳同位素组成与流域植被、土壤有机质密切相关;北江水体悬浮物碳同位素组成受 C_3 植被影响明显;西江悬浮物碳同位素组成介于东江和北江之间;东江水体悬浮物碳同位素组

成,在洪水季节表现出较强的 C_4 植被特征,其它季节则表现出 C_3 植被特征;东江水体 $\text{POC}\delta^{13}\text{C}$ 值波动幅度超过西江,表明东江流域土壤侵蚀程度比西江流域严重。

(2) 近十年来,东江悬浮物样品 $\text{POC}\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围在 $-26.1\text{‰} \sim -17.8\text{‰}$ 之间,呈逐年上升趋势,与流域内植被破坏和土壤侵蚀加剧相对应。

参考文献 (References)

- Sackett W M, Thompson R R. Isotopic organic carbon composition of recent continental derived clastic sediments of Eastern Gulf Coast, Gulf of Mexico [J]. AAPG Bulletin, 1963, 47: 525
- Hunt J M. The Significance of Carbon Isotope Variations in Marine Sediments [M] // Advances in Organic Chemistry. Oxford: Pergamon, 1970: 27-35
- Meiers P A, et al. Proceedings of the 26th Conference on Great Lakes Research, Oswego [C]. 1983: 2
- Shultz D J, Carder J A. Organic carbon $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in estuarine sediments [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1976, 40: 381-385
- Hedges J I, Clark A W, Richey J E, et al. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River [J]. Limnology and Oceanography, 1986, 31: 717-738
- Hedges J I, Ertel J R, Quay P D, et al. Organic carbon-14 in the Amazon River system [J]. Science, 1986, 231: 1129-1131
- Richey J E, Brock J T, Naiman R J, et al. Organic carbon: oxidation and transport in the Amazon River [J]. Science, 1980, 207: 1348-1351
- Bird M I, Fyfe W S, Pinheiro-Dick D, et al. Carbon isotope indicators of catchment vegetation in the Brazilian Amazon [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1992, 6: 293-306
- Bird M I, Giresse P, Ngos S. A seasonal cycle in the carbon-isotopic composition of organic carbon in the Sanaga River, Cameroon [J]. Limnology and Oceanography, 1998, 43: 143-146
- Richey J E, Melack J M, Aufdenkampe A K, et al. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO_2 [J]. Nature, 2002, 416: 617-619
- Kendall C, Steven R, Kelly V J. Carbon and nitrogen isotopic compositions of particulate organic matter in four large river systems across the United States [J]. Hydrological Processes, 2001, 15: 1301-1346
- 彭大钧, 庞雄, 陈长民, 等. 南海珠江深水扇系统的形成特征与控制因素 [J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 10-18 [Peng Dajun, Pang Xiong, Chen Changmin, et al. The characteristics and controlling factors for the formation of deep-water fan system in South China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 10-18]
- Eddins N, Kobva S G. Calculation of terrestrial inputs to particulate organic carbon in an anthropogenically impacted estuary in the south-eastern United States [J]. Water, Air and Soil Pollution, 2001, 127: 227-241
- Findlay S, Pace M L, Lints D, et al. Variability and transport of sus-

- pended sediment particulate and dissolved organic carbon in the tidal freshwater Hudson River [J]. *Biogeochemistry*, 1991, 12: 149-169
- 15 Middelburg J. Carbon and nitrogen stable isotopes in suspended matter and sediments from the Scheldt Estuary [J]. *Marine Chemistry*, 1998, 60: 217-225
 - 16 Barth J A C, Cronin A A, Dunlop J *et al*. Influence of carbonates on the riverine carbon cycle in an anthropogenically dominated catchment basin: evidence from major elements and stable carbon isotopes in the Lagan River (N. Ireland) [J]. *Chemical Geology*, 2003, 200: 203-216
 - 17 Goim A, Cathey W M, Kim Y H, *et al*. Fluxes and sources of suspended organic matter in an estuarine turbidity maximum region during low discharge conditions [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 63: 683-700
 - 18 Jennerjahn T C, Ittekkot V, Klopffer S *et al*. Biogeochemistry of a tropical river affected by human activities in its catchments: Brantas River estuary and coastal waters of Madura Strait, Java, Indonesia [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 60: 503-514
 - 19 Mayorga E, Aufdenkampe K A, Masiello C A, *et al*. Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonian rivers [J]. *Nature*, 2005, 436: 538-541
 - 20 Raymond A P. The age of the Amazon's breath [J]. *Nature*, 2005, 436: 469-470
 - 21 Syvitski P M J, Vornsmarty J C, Kettner A J *et al*. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean [J]. *Science*, 2005, 308: 376-380
 - 22 Mishin A Y, Hoshika A, Tanimoto T, *et al*. Deposition rates of terrestrial and marine organic carbon in the Osaka Bay, Seto Inland Sea, Japan, determined using carbon and nitrogen stable isotope ratios in the sediment [J]. *Journal of Oceanography*, 1999, 55: 1-11
 - 23 Stable carbon isotope ratios of river biota: Implications for energy flow in lotic food webs [J]. *Ecology*, 2001, 82(4): 1052-1064
 - 24 Cabana G. Effects of water velocity on algal carbon isotope ratios: Implications for river food web studies [J]. *Limnology and Oceanography*, 1999, 44(5): 1198-1203
 - 25 蔡德陵, 蔡爱智. 黄河口区有机碳同位素地球化学 [J]. *中国科学 (B辑)*, 1993, 23(10): 1105-1113 [Cai Deling, Cai Aizhi. Geochemical analysis of organic carbon isotope in the Yellow estuary [J]. *Science in China (Series B)*, 1993, 23(10): 1105-1113]
 - 26 蔡德陵, Tan F C. 长江口区有机碳同位素地球化学 [J]. *地球化学*, 1992, 21(3): 305-311 [Cai Deling, Tan F C. Isotopic geochemistry of organic carbon of Yangtze estuary [J]. *Geochimica*, 1992, 21(3): 305-311]
 - 27 Tan F C, Cai D L, Edmond J M. Carbon isotope geochemistry of the Changjiang Estuary [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1991, 32(4): 395-403
 - 28 施光春. 长江口悬浮颗粒有机碳的稳定同位素 [J]. *海洋通报*, 1993, 12(1): 49-53 [Shi Guangchun. Stable isotope of suspended particulate organic carbon in Yangtze estuary and adjacent waters [J]. *Marine Science Bulletin*, 1993, 12(1): 49-53]
 - 29 Milliman J D, Xie Q C, Yang Z S. Transfer of particulate organic carbon and nitrogen from the Yangtze River to the Ocean [J]. *American Journal of Science*, 1984, 284: 824-834
 - 30 Cai W J, Dai M H, Wang X C, *et al*. The biogeochemistry of inorganic carbon and nutrients in the Pearl River estuary and the adjacent Northern South China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2004, 24: 1301-1319
 - 31 Cauwet G, Mackenzie F T. Carbon inputs and distributions in estimates of turbid rivers: the Yangtze and Yellow Rivers (China) [J]. *Marine Chemistry*, 1993, 43: 235-246
 - 32 Zhang J, Yu Z G, Liu S M, *et al*. Dominance of terrigenous particulate organic carbon in the high-turbidity Shuangshizhe estuary [J]. *Chemical Geology*, 1997, 138: 211-219
 - 33 吴莹, 张经, 曹建平, 等. 长江流域有机碳同位素地球化学特征 [J]. *青岛海洋大学学报*, 2000, 30: 309-314 [Wu Ying, Zhang Jing, Cao Jianping, *et al*. The character of carbon isotope geochemistry of the Changjiang drainage basin [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2000, 30: 309-314]
 - 34 吴莹, 张经, 张再峰, 等. 长江悬浮颗粒物中稳定碳、氮同位素的季节分布 [J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33: 546-552. [Wu Ying, Zhang Jing, Zhang Zaifeng, *et al*. Seasonal variability of stable carbon and nitrogen isotope of suspended particulate matter in the Changjiang River [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 23(5): 546-552]
 - 35 高全洲, 沈承德, 孙彦敏, 等. 珠江马口站、河口站断面水体有机碳含量的季节变化 [J]. *地球化学*, 1999, 28(3): 273-280 [Gao Quanzhou, Shen Chengde, Sun Yamin, *et al*. Seasonal variations of riverine organic carbon contents in Makou and Hekou gauge stations of the Pearl River [J]. *Geochimica*, 1999, 28(3): 273-280]
 - 36 高全洲, 沈承德, 孙彦敏, 等. 西江流域的有机碳侵蚀通量 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(4): 639-645 [Gao Quanzhou, Shen Chengde, Sun Yamin, *et al*. The organic carbon weathering fluxes in Xijiang River Basinage [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(4): 639-645]
 - 37 高全洲, 沈承德, 孙彦敏, 等. 北江流域有机碳侵蚀通量的初步研究 [J]. *环境科学*, 2001, 22: 12-18 [Gao Quanzhou, Shen Chengde, Sun Yamin, *et al*. A preliminary study on the organic carbon weathering fluxes in Beijiang River Drainage [J]. *Environmental Science*, 2001, 22: 12-18]
 - 38 Gao Q Z, Tao Z, Shen C D, *et al*. Riverine organic carbon in the Xijiang River (South China): seasonal variation in content and flux budget [J]. *Environmental Geology*, 2002, 41: 826-832
 - 39 魏秀国, 沈承德, 孙彦敏, 等. 河流、河口沉积物中碳同位素研究 [J]. *自然科学进展*, 2002, 12(11): 1135-1139 [Wei Xiuguo, Shen Chengde, Sun Yamin, *et al*. Carbon isotope research of riverine and estuarine suspended matter [J]. *Natural Science Progress*, 2002, 12(11): 1135-1139]
 - 40 魏秀国, 沈承德, 孙彦敏, 等. 珠江水体中 POC 稳定同位素分布特征 [J]. *地理科学*, 2003, 23(4): 471-476 [Wei Xiuguo, Shen Chengde, Sun Yamin, *et al*. Carbon isotope composition of suspended matter in the Pearl River [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(4): 471-476]
 - 41 魏秀国, 沈承德, 李定强, 等. 珠江流域碳的存量与通量研究 [J].

- 生态环境, 2004, 13(4): 670-673 [Wei Xiuguo, Shen Chengde, Li Dingqiang *et al*. The inventory and fluxes of carbon in soil of Pearl River basin [J]. Ecology and Environment, 2004, 13: 501-505]
- 42 水利部珠江水利委员会《珠江志》编纂委员会. 珠江志, 第 1 卷 [C]. 广州: 广东科技出版社, 1991, 169-172, 232 [Committee of Edit for Annals of the Zhujiang River (1991). Annals of Zhujiang (Pearl) River (in Chinese) [C]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1991: 169-172, 232]
- 43 沈承德, 刘冬生, 彭少麟, 等. 鼎湖山自然保护区森林土壤 ^{14}C 测定及 ^{14}C 示踪初步研究 [J]. 科学通报, 1998, 43(16): 1775-1780 [Shen Chengde, Liu Dongsheng, Peng Shaolin *et al*. ^{14}C measurement of forest soils in Dinghushan Biosphere Reserve [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(3): 251-256]
- 44 沈承德, 易惟熙, 孙彦敏, 等. 鼎湖山森林土壤 ^{14}C 表观年龄及 $\delta^{13}\text{C}$ 分布特征 [J]. 第四纪研究, 2000, 20(4): 335-344. [Shen Chengde, Yi Wexi, Sun Yamin *et al*. ^{14}C apparent ages and $\delta^{13}\text{C}$ distribution of forest soils in Dinghushan Nature Reserve [J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(4): 335-344]
- 45 林植芳, 郭俊彦. 广东的 C_3 和 CAM 光合作用植物 [C]. 中国科学院华南植物研究所集刊, 1986, 2: 171-178 [Lin Zhifang, Guo Junyan. Plant with C_3 and CAM photosynthesis in Guangdong Province [C]. Acta Botanica Austro Sinica, 1986, 2: 171-178]
- 46 Ehleringer J R, Lin Z F, Field C B, *et al*. Leaf carbon isotope ratios of plants from a subtropical monsoon forest [J]. Oecologia, 1987, 72: 109-114
- 47 李定强, 王继增, 万洪富, 等. 东江流域典型小流域非点源污染流失规律研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 12-18. [Li Dingqiang, Wang Jizeng, Wan Hongfu, *et al*. Law of non-point source pollutants losses on a typical small watershed of Dongjiang drainage basin of Guangdong province [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1998, 4(3): 12-18]
- 48 邓南荣, 李定强, 王继增, 等. 广东省东江流域土壤侵蚀空间分布特征研究 [J]. 中国水土保持, 1999, 5: 21-24 [Deng Nanrong, Li Dingqiang, Wang Jizeng *et al*. The characteristic of spatial distribution of soil erosion in Dongjiang basin of Guangdong provin [J]. Soil and Water Conservation in China, 1999, 5: 21-24]
- 49 广东省东江流域综合治理办公室开发研究协作组. 广东省东江流域治理开发专题研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 364 [Dongjiang River drainage basin development research cooperation group and comprehensive regulation office Guangdong Province. Developing studies of special subject of the Dongjiang River drainage basin, Guangdong Province [M]. Beijing: The Ocean Publishing House, 1993: 364]
- 50 张成君, 陈发虎, 王琪, 等. 西北干旱区石羊河流域末次冰期晚期气候不稳定性记录 [J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 646-650 [Zhang Chengjun, Chen Fahu, Wang Qi *et al*. Unstability record of Late Glacial Later Period in the Shiyang river basin of arid Northwestem China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 646-650]

The Study of Stable Carbon Isotope Composition of Riverine Suspended Matter and Soil Erosion of the Pearl River Drainage Basin

WEI Xi-guo^{1, 2, 3} SHEN Cheng-de¹ SUN Yan-min¹ YI W ei-xi¹

(1 Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Sciences, Guangzhou 510650)

2 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640

3. Department of Tourism and Environment, Guangdong Institute of Business Studies, Guangzhou 510320)

Abstract This article describes the changes of environment and vegetation of the Pearl River (Zhujiang) drainage basin by $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios ($\delta^{13}\text{C}$ value) of particulate organic carbon (POC) and the content of POC, which can be used as effective indicators of the changes of vegetation, and also provides a new way for studying the environmental changes in short-time scale.

The organic carbon isotopes composition of suspended matter from the Pearl River identifies the vegetation cover and soil erosion of their watershed. Suspended matter from Beijiang River, the tributary of Pearl River, emphasizes the sole influence of organic matter derived from C_3 -rich plants. Suspended matter from the Xijiang River and Dongjiang River emphasizes the influence of organic matter derived from C_3 and C_4 plants. In normal seasons, it shows that the influence of organic matter derived from C_3 plants in Xijiang and Dongjiang River. The $\delta^{13}\text{C}$ value of POC gradually went up in Dongjiang River suspended matter from 1990 to 1999, and it varied from -17.8‰ to -26.1‰ . Some suspended matter from the Dongjiang River has extremely high $\delta^{13}\text{C}$ values in flood season (up to -17.6‰). These high values may be the result of severe erosion in the densely populated and intensively farmed region of the middle and lower reaches of Dongjiang River drainage basin. The erosion degree of the Dongjiang River drainage basin was greater than that of the Xijiang River.

Key words Pearl River, suspended matter, $\delta^{13}\text{C}$, soil erosion