

三峡水库对大宁河沉积环境的影响

——碳酸盐和常量元素含量的变化

吴旭东¹⁾, 李红春^{1,2)}, 李俊云¹⁾, 刘子琦¹⁾, 王勇¹⁾, 李廷勇¹⁾, 高彦芳¹⁾

1) 西南大学地理科学学院, 重庆, 400715; 2) 成功大学地球科学系, 台湾台南, 70101

内容提要:对2006年10月采自长江巫山段一级支流大宁河河底的三根岩芯作了常量元素(K、Na、Ca、Mg)的分析。研究表明,沉积物中稀酸可溶相常量元素的含量能够反映沉积物的特征和来源。大宁河中—上游沉积物中碳酸盐含量平均为23%,反映岩溶地区石灰岩风化的影响;而与长江交接处的沉积物中碳酸盐含量平均为10%,显示长江主流有明显不同的沉积物来源。三峡大坝的建成蓄水,水位提高,使得碳酸盐含量低的红色粘土进入双龙镇段大宁河沉积,造成碳酸盐含量、稀酸可溶相常量元素含量急剧下降,沉积物的颜色发生显著变化。受到蓄水作用的影响,大宁河泥沙沉积速率大幅度提高,自2004年12月蓄水以来,大宁河双龙镇附近沉积物厚达10cm以上。

关键词:稀酸可溶相常量元素;沉积速率;沉积物;环境变化;大宁河;三峡

水库的修建能为人类提供干净的能源、调节灌溉条件和防洪能力,但是它也改变了河流的自然流动模式,可能造成水质恶化、回水区泥沙大量沉积、甚至是气候变化等负面影响(Liu, 2007)。对于水库修建对生态环境影响的研究有很多(Leopold, 1973; Graf, 1977; Kondolf, 1997)。例如:三门峡水库的修建不仅造成干流河床抬高,而且也造成支流渭河的泥沙大量沉积,并引发严重水患(Wang, 2007)。三峡水利工程的建设举世瞩目,关于三峡水库的建成对生态和环境的影响一直是国内外学术界关注的焦点。在三峡水库完成175m蓄水线后,将产生一个1084 km²的蓄水区,引发一系列的环境问题。目前对三峡库区的环境变化的研究主要集中于水质变化、水土流失、重金属污染(张晓华等, 2002; 唐将等, 2005; 吴耀泉, 2007; 田晓四等, 2007; 吕怡兵等, 2007; 董杰等, 2006)等方面,对于蓄水后河流沉积环境的变化报道并不多见。大宁河作为长江在巫山段的一条重要支流,三峡水库蓄水后会导致以下情况:①河道中的泥沙淤积。②水位上升以后,原本出露于水面的基岩被淹没,导致河流的沉积环境发生改变,将在河底沉积物中得到反映。③水流速度减慢,河流自净能力变差。由于流速减慢以及开

发过程中的污染,大宁河流域的水质成为人们担心的问题。目前对大宁河的研究逐渐增加,主要有水体富营养化、生态环境综合评价、古环境演变等方面(黄程等, 2006; 李锦绣等, 2005a, 2005b; 刘瑞民等, 2006; 张芸等, 2001; 蒙万轮等, 2005; 李锦秀等, 2005; 郭平等, 2005)。为了了解三峡水库蓄水对支流水系的影响,笔者等对大宁河的河底沉积物的活性常量元素(稀酸可溶相)进行了研究,探讨蓄水前后河底沉积物常量元素的变化,为解决库区环境问题、合理利用库区水资源提供科学依据。

河流是地球表面物质大循环的主要组成部分,河流沉积物可以记录区域性的水文变化。河流沉积学的研究不但具有重要的理论意义,而且对生产实践和洪灾防治具有重要的指导作用(王随继等, 2000)。一些常量元素:钾、钠、钙、镁等在地质大循环中的地位十分重要(刘英俊等, 1980)。运用元素地球化学手段对沉积物进行研究,不仅可以了解沉积物的物质组成、来源、变化规律等,还可以通过这些规律了解局域的环境变化。三峡水库蓄水后,沉积环境发生显著改变,各种人类活动的影响必然会导致河底沉积物中常量元素对环境变化的反馈。因此,笔者等对大宁河的河底沉积物的常量元素进行

注:本文为重庆市科委院士专项“重庆东北部九盘河流域碳氮及微量元素循环机制与环境演变格局”(编号 CSTC, 2006BC7002)和国家自然科学基金面上项目“全新世中期以来贵州生态环境及石漠化演变格局——石笋记录研究”(编号 40672202)的成果。

收稿日期:2007-10-27;改回日期:2008-01-11;责任编辑:章雨旭。

作者简介:吴旭东,女,1982年生。西南大学地理科学学院硕士研究生。电话:023-68254443;传真:023-68254955;Email: wuxudong2004916@yahoo.com.cn。通讯作者:李红春,1960年生,教授。Email: hli@usc.edu。

了讨论,找出了沉积物中常量元素对环境变化,尤其是三峡水库蓄水的响应特征。

1 研究区域概况

大宁河又名盐溪、昌江,是长江在三峡库区中的一级支流。它发源于重庆巫溪县境内,于巫山县城以东注入长江,全长 202km,汇水面积达 4181km²。地貌上属四川盆地东部边缘部分,岩溶地貌发育十分典型。本文的研究区域只包括大昌镇至大宁河入长江口这一段(图 1)。研究区域内大部分为山地,深谷与中低山相间分布,地质构造比较复杂;这里属亚热带湿润季风性气候,年平均气温在 18℃左右,无霜期长,雨量丰沛,年平均降雨量约为 1300mm,并多数集中在夏季。在此气候和地质条件下,地表风化作用强,河流的泥沙输入量较高。土壤以石灰质紫色土为主,植被主要是亚热带常绿阔叶林。由于长期的人类活动的影响,流域内植被破坏呈加剧趋势,水土流失现象比较严重。

2 样品采集与沉积物特征

作者在 2006 年 10 月,用美国 WILDCO 公司生产的重力岩芯采集器在大宁河干流河心部位,从大昌镇到巫山县城大宁河入长江口之间共采集了岩芯 5 根。本文对其中的三根作讨论,采样点位置如图 1 所示。为避免沉积物采集后发生扰动,岩芯在采集后当场进行分样。

岩芯(YZ1-22)取自双龙镇,双龙镇附近的碳酸岩基岩上发育大量红色粘土(图 2a)。岩芯长 41cm,在 0~9cm 之间以 1.5cm 为间隔采样,9~19cm 以 2cm 为间隔采样,19cm 以下部位以 3cm 为间隔采样,共得到样品 18 个。岩芯在距顶部 11cm 处有明显交界,11cm 以上为褐色泥,以下为灰色淤

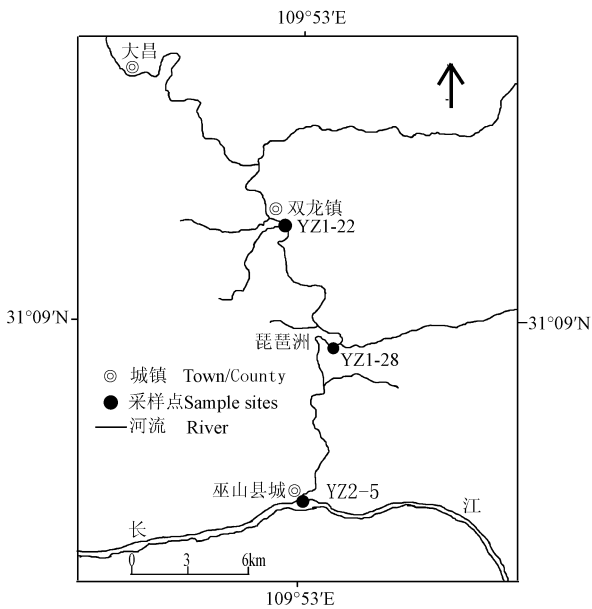


图 1 研究区采样点位置图
Fig. 1 The geographic location of the sample site

泥。岩芯(YZ1-28)取自琵琶洲,附近是陡峭的石灰岩峡谷(图 2b),岩芯总长 43cm,全部以 1.5cm 为间隔采样,共得到样品 30 个。沉积物的颜色变化并不明显,均为灰色淤泥。长江口岩芯(YZ2-5)取自长江与大宁河交汇处的长江干流上(图 2c),总长 40cm,全部以 1.5cm 为间隔进行采样,共得到 27 个样品。该岩芯在距顶部 26cm 处有交界层,26cm 以上为褐色泥沙,26cm 以下为灰色淤泥。样品在野外分样时装入塑料封口袋,放入低温箱内低温保存,带回实验室后保存在冰箱内待分析。

3 实验分析与结果

在实验室内将低温保存的样品取出,转移至玻璃皿中,在 60℃的烘箱中烘干;烘干的样品放置于

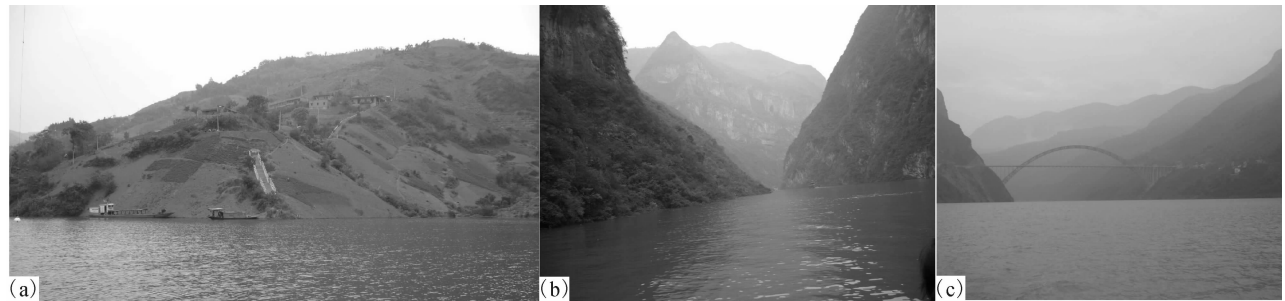


图 2 三根岩芯附近的环境。从左向右依次是双龙镇、琵琶洲、大宁河与长江交汇处
Fig. 2 The circumstance around three cores, from left to right, are Shuanglong town, Pipazhou and the intersection of Yangze and Daning River respectively

玛瑙研钵中研磨,使土样的各个部分充分混合;再把研磨好的样品过 50 目的分样筛,将其中的植物残体与沉积物分开。

称取 2g 左右的土样,加入 10mL 3N HCl 溶解,直至样品中的碳酸盐完全反应,溶液的 pH 值小于 3。离心分离样品,所得清液转入 50mL 容量瓶中。再上去离子水洗涤离心管中的沉积物,离心分离,将上层清液合并至容量瓶中,重复此过程三次。离心分离后的残渣置于 60℃ 的烘箱中烘干,称重,与原始重量一起计算酸溶的失重量(W_a)。酸溶失重在

每个岩芯的变化见图 3。

用去离子水将容量瓶中溶液稀释至 50mL 刻度定容。样品送进美国 Perkin- Elmer 公司生产的 Optima-2100DV 全谱直读型 ICP-OES 进行各种常量/微量元素的分析,对每个元素分别建立标准曲线,各样品不同元素的浓度值由标准曲线算出。在实际分析过程中进行多个空白样、重复样及标准样分析。用以上方法测定的各种离子的检出限均优于 0.001mg/L,相对标准偏差一般小于 2%,分析结果可靠。最后,将各元素在溶液中的浓度换算为土样

表 1 大宁河河底三根岩芯常量元素随深度变化表

Table 1 Major elements content variation with the depth of three cores from bottom of the Daning River

样 品	样品编号	距顶深度 (cm)	沉积物中的含量(‰)				样 品	样品编号	距顶深度 (cm)	沉积物中的含量(‰)				
			Ca	Mg	K	Na				Ca	Mg	K	Na	
双 龙 镇 小 溪 河 入 口 河 底 岩 芯	YZ 1-22-A	0.75	63.16	4.72	0.51	0.43	同 家 湾 琵 琶 洲 河 底 岩 芯	YZ 1-28-U	30.75	96.17	10.62	0.52	0.11	
	YZ 1-22-B	2.25	46.49	4.28	0.57	0.52		YZ 1-28-V	32.25	93.38	9.73	0.40	0.10	
	YZ 1-22-C	3.75	49.17	4.59	0.50	0.08		YZ 1-28-W	33.75	48.28	4.81	0.21	0.05	
	YZ 1-22-D	5.25	67.74	5.18	0.41	0.08		YZ 1-28-X	35.25	100.64	8.80	0.47	0.10	
	YZ 1-22-E	6.75	75.25	5.97	0.48	0.08		YZ 1-28-Y	36.75	86.85	7.94	0.50	0.10	
	YZ 1-22-F	8.25	80.04	6.30	0.54	0.08		YZ 1-28-Z	38.25	118.77	8.91	0.52	0.11	
	YZ 1-22-G	10.00	122.14	7.44	0.49	0.08		YZ 1-28-AA	39.75	105.04	9.54	0.44	0.09	
	YZ 1-22-H	12.00	114.07	9.02	0.42	0.09		YZ 1-28-BB	41.25	98.04	9.79	0.46	0.11	
	YZ 1-22-I	14.00	105.92	9.49	0.46	0.08		YZ 1-28-CC	42.75	104.96	8.59	0.45	0.10	
	YZ 1-22-J	16.00	104.75	8.89	0.40	0.07		YZ 1-28-DD	44.25	97.71	8.91	0.45	0.10	
	YZ 1-22-K	18.00	104.25	8.84	0.40	0.07			YZ2-5A	0.75	38.05	11.32	0.69	0.18
	YZ 1-22-L	20.50	102.91	9.00	0.39	0.08			YZ2-5B	2.25	37.86	11.21	0.71	0.17
	YZ 1-22-M	23.50	97.53	7.90	0.53	0.08			YZ2-5C	3.75	37.33	10.25	0.64	0.17
	YZ 1-22-N	26.50	91.92	6.58	0.60	0.09			YZ2-5D	5.25	36.67	10.27	0.65	0.16
	YZ 1-22-O	29.50	130.13	8.19	0.49	0.08			YZ2-5E	6.75	42.80	12.14	0.63	0.18
	YZ 1-22-P	32.50	103.39	7.14	0.40	0.08			YZ2-5F	8.25	45.79	13.18	0.63	0.17
	YZ 1-22-Q	35.50	111.80	7.53	0.50	0.08			YZ2-5G	9.75	43.73	12.37	0.62	0.17
	YZ 1-22-R	39.00	116.54	7.45	0.43	0.08			YZ2-5H	11.25	41.09	10.74	0.60	0.17
巴 雾 峡 入 口 附 近 同 家 湾 琵 琶 洲 河 底 岩 芯	YZ 1-28-A	0.75	95.34	8.21	0.54	0.14	大 宁 河 入 长 江 口 最 深 处 河 底 岩 芯	YZ2-5I	12.75	37.99	9.45	0.54	0.17	
	YZ 1-28-B	2.25	112.46	7.83	0.50	0.13		YZ2-5J	14.25	26.09	6.78	0.52	0.15	
	YZ 1-28-C	3.75	111.84	7.69	0.46	0.12		YZ2-5K	15.75	34.11	7.66	0.43	0.14	
	YZ 1-28-D	5.25	104.63	7.98	0.38	0.32		YZ2-5L	17.25	43.66	9.96	0.54	0.18	
	YZ 1-28-E	6.75	101.45	7.51	0.44	0.10		YZ2-5M	18.75	36.26	8.54	0.52	0.16	
	YZ 1-28-F	8.25	98.62	7.82	0.53	0.11		YZ2-5N	20.25	39.71	9.42	0.50	0.19	
	YZ 1-28-G	9.75	93.39	8.50	0.50	0.10		YZ2-5O	21.75	43.49	10.20	0.73	0.20	
	YZ 1-28-H	11.25	86.24	9.46	0.49	0.10		YZ2-5P	23.25	39.13	9.45	0.69	0.18	
	YZ 1-28-I	12.75	78.52	10.51	0.37	0.09		YZ2-5Q	24.75	45.19	11.90	0.67	0.20	
	YZ 1-28-J	14.25	80.12	10.06	0.44	0.09		YZ2-5R	26.25	40.96	11.55	0.71	0.18	
	YZ 1-28-K	15.75	83.50	9.75	0.45	0.10		YZ2-5S	27.75	34.23	10.33	0.56	0.16	
	YZ 1-28-L	17.25	90.22	10.20	0.40	0.09		YZ2-5T	29.25	37.43	10.67	0.60	0.17	
	YZ 1-28-M	18.75	103.37	10.90	0.38	0.10		YZ2-5U	30.75	43.10	12.24	0.60	0.16	
	YZ 1-28-N	20.25	93.07	8.28	0.42	0.11		YZ2-5V	32.25	39.15	10.19	0.56	0.17	
	YZ 1-28-O	21.75	96.32	8.75	0.39	0.10		YZ2-5W	33.75	38.69	9.30	0.54	0.17	
	YZ 1-28-P	23.25	93.47	9.30	0.30	0.09		YZ2-5X	35.25	47.86	11.13	0.69	0.21	
	YZ 1-28-Q	24.75	92.55	8.65	0.37	0.09		YZ2-5Y	36.75	48.62	11.48	0.62	0.23	
	YZ 1-28-R	26.25	97.16	8.67	0.39	0.10		YZ2-5Z	38.25	40.26	9.51	0.61	0.18	
	YZ 1-28-S	27.75	104.83	8.16	0.41	0.11		YZ2-5AA	39.50	45.28	12.99	0.68	0.24	
	YZ 1-28-T	29.25	88.10	9.90	0.45	0.10								

中所含的常量元素的质量(‰)(表 1)。

以上稀酸(3NHCl)溶解的处理方法,基本上只是溶解沉积物中的碳酸盐、可溶性盐和吸附在沉积物表面的元素,并不会溶解母岩碎屑矿物(李红春等,2002)。本文只讨论 Ca、Mg、K、Na 这 4 种常量元素,其他分析结果另文发表。图 4 给出这 4 种元素在 3 根岩芯中的含量变化。

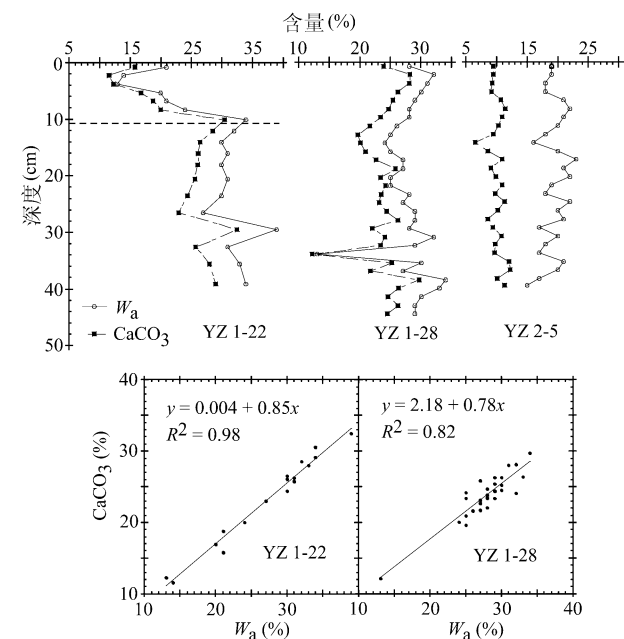


图 3 岩芯中稀酸溶解失重(W_a)随深度的变化以及与 CaCO_3 的对比

Fig. 3 Variations of weight loss by acid dissolution (W_a) and CaCO_3 with depth, as well as comparison of W_a and CaCO_3

4 结果讨论

4.1 沉积物酸溶失重的变化

图 3 中的上图显示各岩芯稀酸溶解后沉积物失重(W_a)随深度的变化。酸溶失重(W_a)主要是沉积物中的 CaCO_3 以及盐类和可溶性有机物。同时,我们将所测的 Ca 浓度换算成 CaCO_3 含量(假设所有的 Ca 都是来自 CaCO_3),并画在图 3 中与 W_a 进行对比。

从图 3 中可以发现,Ca 浓度换算成的 CaCO_3 含量均低于 W_a ,这说明稀酸溶解的物质不完全是 CaCO_3 ,其中应该包括盐类和可溶性有机物。不过在岩芯 YZ1-22 和 YZ1-28 中, CaCO_3 占稀酸溶解物质的 80%左右,而在岩芯 YZ2-5 中只占 50%左右。这意味着在岩芯 YZ1-22 和 YZ1-28 中稀酸可溶相

物质基本上是方解石碳酸钙,而在岩芯 YZ2-5 中则可能含有其他不含 Ca 的盐类。在图 3 的下图中显示,在岩芯 YZ1-22 和 YZ1-28 中 CaCO_3 和 W_a 的线性相关性很好, R^2 为 0.98 和 0.82。岩芯 YZ2-5 的 CaCO_3 和 W_a 的相关性很低, $R^2 = 0.14$ 。

在岩芯 YZ1-22 大于 10cm 深的部分和整个岩芯 YZ1-28 中, CaCO_3 含量(或者 W_a)大于 20%,也就是说沉积物中超过 1/5 的物质是方解石。河流沉积物中这么高的碳酸钙含量反映了碳酸钙来源于石灰岩地区的风化物质。在岩芯 YZ2-5 中,碳酸钙含量在 10%左右,说明在长江口附近河流沉积物的来源有别于大宁河流域。

另外,岩芯 YZ1-22 在 11cm 处有个很大的变化,沉积物颜色由灰色转变为褐色, CaCO_3 含量急剧下降。这个情况可能表明,在三峡大坝建成蓄水后,由于水位的抬升,造成的河流沉积物来源变化。在野外观察发现,位于石灰岩地层之上的是红色粘土,这些粘土的 CaCO_3 含量很低。水位抬升后,红色粘土也被冲刷到河流中沉积。如果以 2004 年 12 月三峡水库开始蓄水造成这一变化算起,那么,到 2006 年 10 月作者采样时,大宁河在双龙镇(岩芯 YZ1-22)处沉积了 11cm 厚的沉积物,即:5.5cm/a,这样的沉积速率是相当快的。通常,河流流速快时,流水将沉积物带往下游,河床的泥沙堆积厚度较少、速率较低。三峡水库的蓄水,使得大宁河流速减慢,自然会导致泥沙堆积。

在琵琶洲(岩芯 YZ1-28)和与长江交汇处(岩芯 YZ2-5),沉积物在深度上没有明显的变化。岩芯 YZ2-5 主要是褐色泥沙, CaCO_3 含量小,可能主要是长江带来的沉积物。所以,这个岩芯不能体现大宁河沉积环境的变化;在琵琶洲上游,大宁河两岸是陡峭的石灰岩峡谷,水位的上升对两岸灰岩的风化作用没有太大影响。因此,这两个岩芯在 CaCO_3 含量(或者 W_a)上没有表现大宁河沉积环境的变化。

4.2 沉积物中的钙、镁含量之意义

在大宁河沉积物稀酸可溶相物质中,钙是 Ca、Mg、K、Na 这四种常量元素物中含量最高的元素(图 4),即使是 Ca 含量最低的 YZ2-5 岩芯,Ca 含量也比 Na 和 K 的含量高 100 倍,比 Mg 的含量高数倍。岩芯 YZ1-22、YZ1-28 和 YZ2-5 钙含量占沉积物的重量分别为 93.733‰、95.168‰和 40.168‰。其次是 Mg,在 YZ1-22、YZ1-28 和 YZ2-5 的含量平均值分别为 7.140‰、8.859‰和 10.527‰。

从前述稀酸溶解失重和 CaCO_3 含量的对比分析,可以看出样品稀酸可溶相的钙元素主要来自碳酸钙,因为本研究区域是典型的灰岩地区。在用 3N HCl 溶解样品时,反应起泡强烈,证实有大量的 CO_2 气泡产生。然而,镁的来源就不一定是碳酸盐,粘土矿物中也含有一定量的 Mg。如果 Ca 和 Mg 同时来自于碳酸盐,它们应该有较好的相关性 (Li Hongchun et al., 2004)。图 5 反映了三根岩芯中 Ca 和 Mg 相关性,在岩芯 YZ1-22 和 YZ2-5 中相关性较好,而在岩芯 YZ1-28 中 Ca 和 Mg 毫无相关性。这说明岩芯 YZ1-22 和 YZ2-5 中的碳酸盐可能含有一定量的白云石,不过无法计算白云石与方解石的比例是多少。在岩芯 YZ1-28 中, Ca 和 Mg 有不同的来源,两者不仅没有正相关,反而在深度 28cm 以上有明显的反相关 ($R^2 = -0.75$),说明 Mg 的来源不是碳酸盐,这个岩芯的碳酸盐都是方解石。这也反映了大宁河琵琶洲上游两岸是陡峭的石灰岩峡谷的情况。稀酸可溶性矿物主要来自石灰岩风化

物质,当方解石含量增加时,含 Mg 的可溶性矿物就减少。至于是什么含镁矿物还有待进一步分析。

在岩芯 YZ1-22 中, Ca 和 Mg 含量从 11cm 深以上有同步减小的趋势,说明红色粘土的输入增加,导致碳酸盐含量减少,反映了三峡水库蓄水的影响。

4.3 沉积物中的钾、钠含量之意义

岩芯 YZ1-22、YZ1-28 和 YZ2-5 中钾含量的平均值相差很小,分别为 0.472‰、0.434‰ 和 0.609‰。这三根岩芯中钠含量随深度除个别点外基本不变,平均值分别为 0.124‰、0.110‰ 和 0.178‰。钾盐和钠盐通常是可溶性矿物,在风化淋溶时被水溶失。因此,在稀酸可溶相物质中,这两个元素的含量都不太高。而赋存于硅酸盐中的钾、钠 (如:长石、粘土矿物)一般也不易溶于 3N HCl。对比三根岩芯的钾、钠含量发现钾含量均比钠高,这与钾的地球化学性质有关:通过 x 射线衍射分析,大宁河河底沉积物中有含有云母—伊利石类和绿泥石类的粘土矿物,由于钾离子半径比较大,更易于被粘土

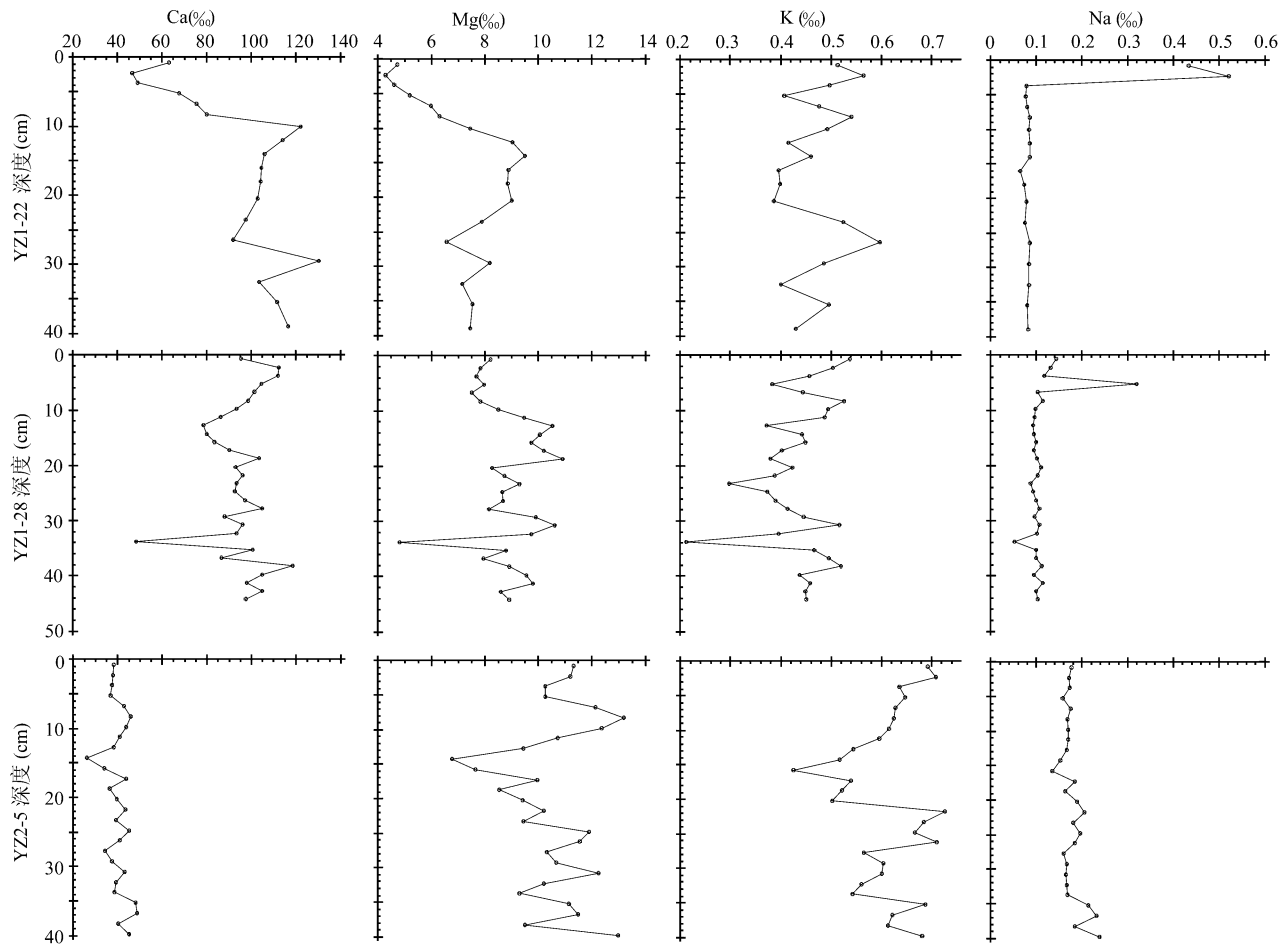


图 4 三根岩芯常量元素随深度变化图

Fig. 4 Variations of the major elements with depth in three cores

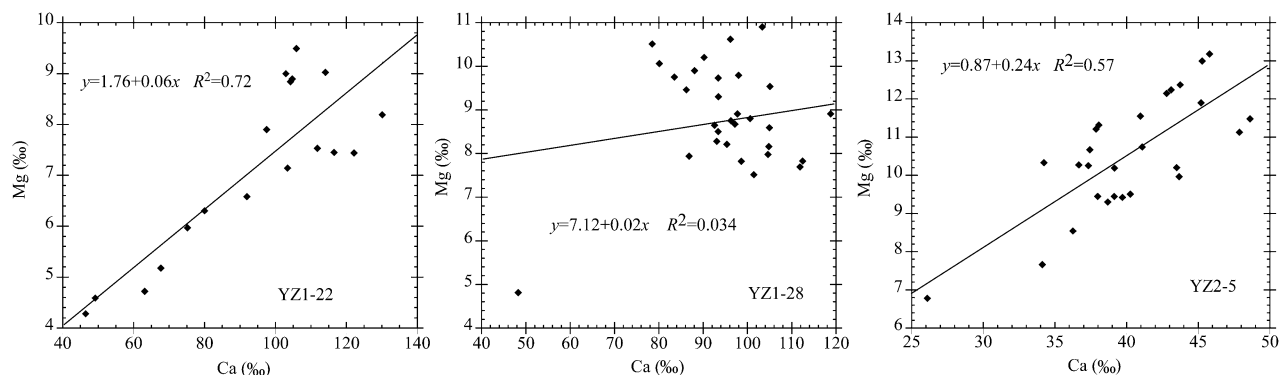


图 5 三根岩芯的钙、镁元素相关性分析

Fig. 5 Correlation between Ca and Mg of three cores

矿物吸附,所以河底沉积物中更富集钾离子。另外,钾肥的使用,也会使沉积物中含有较多的 K。笔者认为大宁河沉积物中稀酸可溶相的钾、钠可能主要来源于土壤中淋失的钾肥以及粘土矿物中吸附的钾、钠。

除了岩芯 YZ1-22 最上层的两个点和岩芯 YZ1-28 第四个点的数据异常偏高之外,钠含量在三根岩芯中的基本不变。我们先讨论岩芯 YZ1-28(去掉第四个点)和 YZ2-5 中钾、钠含量的关系,尽管钠的变化很小,但它与钾的变化趋势基本一致(图 6)。这说明钾、钠两个元素基本上有相同的来源——粘土矿物。岩芯 YZ2-5 中钾、钠含量的平均值均高于另两个岩芯,显示这个地点的沉积物粘土矿物相对较高,符合前面的分析结果。

在岩芯 YZ1-22 中,只有顶部两点的钾、钠含量显示相关性,而在这之下的钠含量几乎保持不变。本文前面已经阐述三峡蓄水以后,水位急剧上升,原来出露于地表的红褐色粘土被淹没于水下而输入到大宁河中,导致蓄水影响下的沉积物中碳酸盐(亦即 Ca 和 Mg)的含量大幅度下降,沉积物颜色改变。这一点也已经被总碳、总有机碳的分析所证实(结果另文发表)。

然而,值得注意的是,在岩芯 YZ1-22 中顶部两点的钠含量大幅度升高(图 4),是背景值的 5 倍左右。这两个样品中钠的增加不是来自于方解石,而是非碳酸盐类的稀酸可溶性钠盐。在自然界中,不溶于水而溶于稀酸的盐(或者矿物)极少,我们判断这种稀

酸可溶性钠盐是来自人类制造的工农业产物。当三峡水库蓄水达到 150m 时,双龙镇原来的城镇居住区部分被淹没,沿岸的生活区、农田等环境可能带来各种复杂的物质进入河床,被储存在沉积物中。在岩芯 YZ1-28 中距顶部第 4 个样品钠含量远高于平均值(图 4),但是这个样品的钾含量不高, W_a 与 CaCO_3 含量的比值也没有明显增加。因此,这个样品的 Na 含量异常。

综上所述,岩芯 YZ1-22 从多个指标上同时反映了蓄水对沉积环境的影响,推断 11cm 深度以上的沉积物是在 2004 年 12 月以来蓄水影响下形成的。这样高的泥沙堆积速率,并含有复杂的成分,对大宁河的环境,尤其是水质,是一个潜在的威胁。

4.4 岩芯 YZ1-28 中常量元素及 W_a 的最小值

在岩芯 YZ1-28 的 34cm 深处,四种常量元素的

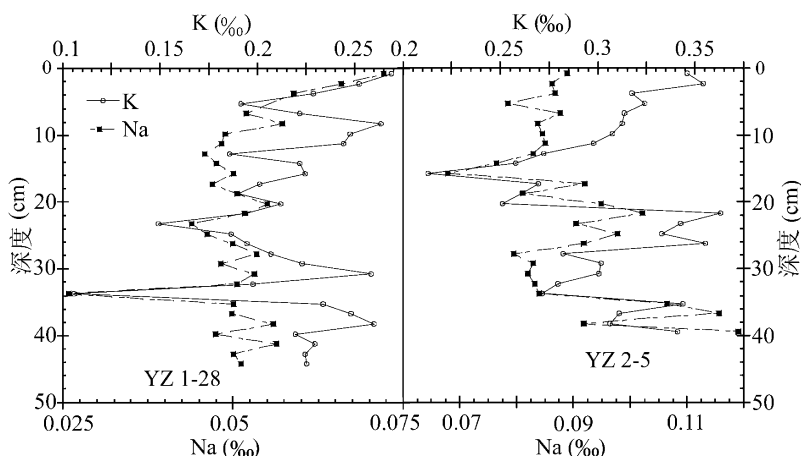


图 6 岩芯 YZ1-28 和 YZ2-5 沉积物稀酸可溶相中钾、钠含量随深度的变化

Fig. 6 Variations of K and Na in cores YZ1-28 and YZ2-5

含量以及 W_s 均是最小值,并且远低于平均值。这一情况说明沉积物中大约 90% 为稀酸不溶性物质。在自然界中,稀酸不溶性物质多以石英和其他硅酸盐矿物为主。如果是这个情况的话,那么有可能是洪水造成的物理性泥沙堆积占主导,石灰岩风化来源的物质就很少。不过,由于所研究的沉积物时间比较短,属于近几十年的沉积(^{14}C 年龄),人为活动,如:修路、人工输沙等,也可能造成大量的稀酸不溶性物质在某一时期发生。究竟是自然还是人为活动引起这一沉积物的变化,还需进一步研究。

5 结论

河流沉积物是反映流域沉积环境的重要载体,沉积物稀酸可溶性物质,如:矿物、常量元素等,是反映流域环境变化的重要指标。通过对大宁河流域的三根河底岩芯的稀酸可溶相常量元素的研究,得出以下结论:

(1) 大宁河流域大昌镇至琵琶洲一带,在三峡水库蓄水前沉积物的碳酸盐含量一般占 25% 左右,反映岩溶地区石灰岩的风化作用对沉积物的影响。在与长江交汇处,沉积物中的碳酸盐含量明显减低,指示长江干流沉积物有不同的来源。

(2) 大宁河流域稀酸可溶相物质中常量元素含量依次为 $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$ 。在双龙镇、琵琶洲、长江交汇处三个地方, Ca 的含量平均值分别为 93.733‰、95.168‰ 和 40.168‰; Mg 的平均值分别为 7.140‰、8.859‰ 和 10.527‰; K 的平均值分别为 0.472‰、0.434‰ 和 0.609‰; Na 的平均值分别为 0.124‰、0.110‰ 和 0.178‰。岩芯 YZ1-22 和 YZ2-5 中, Ca 和 Mg 呈正相关,指示可能同为碳酸盐来源。岩芯 YZ1-28 中的 Mg 与 Ca 不仅没有正相关,而且在顶部 28cm 中呈反相关,这种情况表明 Mg 显然不是来自碳酸盐的。岩芯 YZ1-28 和 YZ2-5 中,钾和钠有基本相同的变化趋势,说明这两个元素基本上有相同的来源。土壤中的钾肥以及粘土矿物中吸附的钾、钠可能是大宁河沉积物中稀酸可溶相钾、钠的主要来源。

(3) 2004 年 12 月三峡蓄水以后,水位上升使得双龙镇周围原来出露于地表的红褐色粘土大量输入到大宁河中,导致沉积物中碳酸盐、 Ca 和 Mg 含量大幅度下降,沉积物颜色改变,泥沙堆积速率可达 5cm/a。在沉积物中甚至还发现来源不明的稀酸可溶性钠盐大幅度增加。在琵琶洲附近,由于上游为陡峭的石灰岩峡谷,沉积物对蓄水的反应程度不明

显。另外,由于“蓄清排洪”的实施,干流受三峡蓄水的影响比支流小,在两河交汇处的沉积物常量元素的变化不大。但是,三峡水库蓄水对支流生态环境的影响不容忽视,本文通过对长江支流的沉积物的研究,为库区的生态环境保护及水资源的合理利用提供科学依据。

致谢: 作者感谢台湾中山大学海洋地质研究所郭芳旭先生、西南大学地理科学学院王海静同学在野外采样工作中给予的帮助。

参 考 文 献 / References

- 董杰,杨达源,周彬,胥勤勉. 2006. ^{137}Cs 示踪三峡库区土壤侵蚀速率研究. 水土保持学报, 20(6): 1~5.
- 郭平,龚宇,李永建,王德蕊,钟成华. 2005. 三峡水库 135m 水位蓄水典型次级河流回水段富营养化监测评价. 中国环境监测, 2(21): 88~90.
- 黄程,钟成华,邓春光,幸治国,李永建,王德蕊,蒙万伦. 2006. 三峡水库蓄水初期大宁河回水区流速与藻类生长关系的初步研究. 农业环境科学报, 25(2): 453~457.
- 李红春,朱照宇. 2002. 美国西部 Owens 湖地球化学记录及其古气候意义. 第四纪研究, 22(6): 578~588.
- 李锦秀,禹雪中,幸治国. 2005a. 三峡库区支流富营养化模型开发研究. 水科学进展, 16(6): 777~783.
- 李锦绣,杜斌,孙以三. 2005b. 水动力条件对富营养化规律探讨. 水利水电技术, 36(5): 15~18.
- 刘瑞民,沈珍瑶. 2006. 大宁河流域生态环境综合评价及其演变. 北京师范大学学报(自然科学版), 42(2): 200~203.
- 刘英俊,王鹤年,曹励明,储同庆,李兆霖,张景荣. 元素地球化学. 科学出版社, 1980.
- 吕怡兵,宫正宇,连军,王强,邢核,李国刚. 2007. 长江三峡库区蓄水后水质状况分析. 环境科学研究, 20(1): 1~6.
- 蒙万伦,钟成华,邓春光,李永建,王德蕊. 2005. 库区蓄水后大宁河神女溪富营养化调查与评价. 云南环境科学, 24(增刊): 136~139.
- 唐将,刘安云,邓富银,雷家立. 2005a. 长江三峡库区土壤与水系沉积物 Cd 地球化学特征,地质通报, 24(8): 750~754.
- 田晓四,朱诚,尹茜,孙智彬. 2007. 长江三峡库区中坝遗址地层洪水沉积粒度特征及其沉积环境. 沉积学报, 25(2): 261~266.
- 王随继,倪晋仁,王光谦. 2000. 河流沉积学研究进展及发展趋势. 应用基础与工程科学学报, 4(8): 362~369.
- 吴耀泉. 2007. 三峡库区蓄水期长江口底栖生物数量动态分析. 海洋环境科学, 26(2): 138~141.
- 张晓华,肖邦定,陈珠金,惠阳,徐小清. 2002. 三峡库区香溪河中重金属元素的分布特征. 长江流域资源与环境, 11(3): 269~273.
- 张芸,朱诚,于世永. 2001. 长江三峡大宁河流域 3000 年来的环境演变与人类活动. 地理科学, 21(3): 267~271.
- Graf W L. 1977. The rate law in fluvial geomorphology. American Journal of Science, 277: 178~191.
- Kondolf M G. 1997. Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. Environmental Management, 21(4): 533~551.
- Leopold L B. 1973. River channel change with time: an example. Geological Society of America Bulletin, 84: 1845~1860.

Li Hongchun, Bischoff J L, Ku Teh-lung , Zhu Zhaoyu. 2004. Climate and hydrology of the last interglaciation (MIS 5) in Owens Basin, California: Isotopic and geochemical evidence from core OL-92. *Quaternary Science Reviews*,23:49~63.

Liu Wencheng. 2007. Modelling the effects of reservoir construction on tidal hydrodynamics and suspended sediment distribution in Danshuei River estuary. *Environmental Modelling & Software*, 22:1588~1600.

Wang Zhaoyin, Wu Baosheng, Wang Guangqian. 2007. Fluvial processes and morphological response in the Yellow and Weihe Rivers to closure and operation of Sanmenxia Dam. *Geomorphology*, 91:65~79.

The Impact of Three Gorges Reservoir on Sedimentation of Daning River: Changes in Carbonate and Major Element Contents

WU Xudong¹⁾, LI Hongchun^{1,2)}, LI Junyun¹⁾, LIU Ziqi¹⁾,
WANG Yong¹⁾, LI Tingyong¹⁾, GAO Yanfang¹⁾

1) *Department of Geography Science, Southwest University, Chongqing, 400715;*
2) *Department of Earth Science, Cheng-Kung University, Tainan, 70101*

Abstract: Acid-leachable major elements (K, Na, Ca, Mg) of three riverine sediment cores have been measured. These cores were collected in Oct. 2006 from Daning River which is a major tributary of Yangtze River. The results suggest that the content of acid-leachable major elements in the cores can reflect the characteristics and origin of the sediments. The average carbonate content in upper—middle Daning River is about 23%, which reflects limestone weathering in the Karst region; whereas the mean carbonate content is about 10% at the intersection of Yangtze and Daning River. This indicates a differently sedimentary origin from Daning River. After the construction of the Three Gorges’ dam and 150m-level storage of the reservoir, the water level in Daning River has raised rapidly. The deposition of the red clay which contains less carbonate around Shuanglong town strongly increased. As a result, the carbonate content and acid-leachable major elements in the riverine sediments decreased sharply and the color of the sediment changed obviously. Since the first phase of the sluice of Three Gorges Reservoir in December 2004, the sediment thickness around Shuanglong town is about 11cm, which gives a sedimentary rate of 5.5cm/a in Daning River.

Key words: acid-leachable major elements; sedimentary rate; sediment; environmental change; Daning River; the Three Gorges

