

# $^{137}\text{Cs}$ 测年在海岸盐沼中的应用

王爱军<sup>1</sup>, 高抒<sup>2</sup>, 陈坚<sup>1</sup>

(1 国家海洋局第三海洋研究所 海洋与海岸地质环境开放实验室, 厦门 361005;  
2 南京大学 海岸与海岛开发教育部重点实验室, 南京 210093)

**摘要:** 海岸盐沼广泛分布在海岸和河口环境, 滩面有盐生植被覆盖, 并且被潮水沟分割成片。研究海岸盐沼沉积过程和沉积速率, 对于深入认识人类活动与海岸系统之间的相互作用具有非常重要的意义。 $^{137}\text{Cs}$  测年技术是近20年用来测定现代沉积速率的一个有效方法, 人工核试验产生的 $^{137}\text{Cs}$  被释放到大气中, 再经气-水、水-沉积物界面的交换和吸附而沉淀在地层里, 通过几次出现的峰值年代来计算不同时期的沉积速率; 该方法在计算湖泊沉积速率方面取得了成功, 在陆架、海湾、潮滩等区域也取得了较好的成果。但由于该方法对研究区域地层记录的稳定性有较高的要求, 沉积物黏土含量、分选程度均对 $^{137}\text{Cs}$  含量有显著影响; 海岸盐沼由于植被生长茂盛, 根系伸入地层深处, 对沉积地层有较大扰动, 因此, 很难分辨出特征峰值, 需要借助其他手段来综合判断特征沉降峰值。

**关键词:**  $^{137}\text{Cs}$  测年; 沉积速率; 海岸盐沼

**中图分类号:** P597.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0256-1492(2006)05-0085-06

海岸盐沼广泛分布在海岸和河口环境, 从地貌学上讲, 海岸盐沼系统包含了两个次一级系统, 一个是向海平缓倾斜的、有植被覆盖的台地系统(包括生物、地质、地貌等), 另一个是将该台地系统分割成片的潮水沟系统<sup>[1]</sup>。海岸盐沼是人类开放利用历史最悠久、活动最频繁的地带之一, 同时也是对环境变化反映非常敏感的区域, 清晰地记录了人类的各种活动。因此, 研究海岸盐沼沉积过程和沉积速率, 对于深入认识人类活动与海岸系统之间的相互作用、建立精确的年代学、研究连续的环境变化过程等具有非常重要的意义。我国东部沿海作为经济最发达、人口最密集的地区, 尤其是20世纪50年代以来, 人类活动更为强烈和频繁, 人类的强烈活动在海岸盐沼的地层中留下了丰富的记录。因此, 通过研究海岸盐沼的沉积特征, 可以分析我国海岸盐沼对人类活动及环境变异的响应特征, 并对未来环境变迁做出预测, 用来指导人类活动的方式和方法。

研究近几十年来的沉积过程和沉积速率的方法, 主要有断面或沉降板重复测量和同位素测年等。断面或沉降板重复测量是通过设置固定断面和定点, 在不同时期进行测量, 以计算沉积速率<sup>[2-5]</sup>。该方法虽然能得到精确的沉积速率和详细的沉积过程, 但受人类活动影响很大, 不能得到长期的观测数

据。同位素测年方法主要有 $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 技术, $^{210}\text{Pb}$ 的半衰期是22.3 a, 适于测定近百余年的地质事件和年龄, 此法为Goldberg<sup>[6]</sup>所开创; $^{137}\text{Cs}$ 是一种人工元素, 是核裂变的产物, 半衰期为30.2 a, 利用 $^{137}\text{Cs}$ 进行测年首先是由Robbins和Edgington<sup>[7]</sup>提出的、用来验证 $^{210}\text{Pb}$ 测年的准确性; 由于 $^{210}\text{Pb}$ 测年技术是通过计算获得年代数据, 而 $^{137}\text{Cs}$ 技术是测出地层的绝对年代, 因此, $^{137}\text{Cs}$ 测年方法提出后, 在湖泊、河口湾、潮间带、海岸盐沼等区域得到了广泛的应用<sup>[8-23]</sup>。

## 1 $^{137}\text{Cs}$ 测年原理及应用

自1945年第1次核爆炸以来, 尤其是50年代初期美国和苏联进行了大量的大气层核试验, $^{137}\text{Cs}$ 在大气中的浓度迅速上升。 $^{137}\text{Cs}$ 可被明显检测到的最早年份大约是1954年<sup>[13]</sup>。到1961和1962年, 核爆炸达到高峰, 全球大气层核试验总裂变当量80%以上集中在1961—1962年间, 大气中的 $^{137}\text{Cs}$ 经过10~12个月的滞留期后沉降到地面, 进入水体的 $^{137}\text{Cs}$ 被细颗粒沉积物吸附后发生沉积并被埋藏, 因此, 在1963年左右会出现一个 $^{137}\text{Cs}$ 的最大峰值<sup>[24]</sup>; 后来尽管一些国家也进行了核试验, 但其裂变当量仅占全球的10%左右, 不会干扰该峰值。自1963年大规模的大气层核试验停止后, 70年代初又进行了几次大气层核试验, 因两者在时间上相隔约10年, 在沉积物剖面上产生了一个可辨别的 $^{137}\text{Cs}$ 沉降峰值; 由于1986年苏联切尔诺贝利核电站发生

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(40476041); 福建省自然科学基金项目(D0510025)

**作者简介:** 王爱军(1977—), 男, 助理研究员, 硕士, 自然地理学专业, E-mail: ajwang7708@sohu.com

**收稿日期:** 2006-03-11; **改回日期:** 2006-05-24. 文凤英编辑

了严重的核泄漏事故,对全球 $^{137}\text{Cs}$ 的分布产生了较大影响,在沉积物上也产生了一个沉降峰值<sup>[16, 23-24]</sup>。因此,利用沉积物柱状样中 $^{137}\text{Cs}$ 垂直剖面3个峰值深度位置(分别对应1963、1974和1986年)及检测到明显的 $^{137}\text{Cs}$ 出现的层位(对应于1954年)为时间标记,可以计算1963年以来各时期的沉积厚度和平均沉积速率。具体计算方法如下:

$$Q_x = (A_x/A_0) \times (M_0/M_x) \times (T_x/T_0) \times Q_0 \quad (1)$$

$$R_i = D_{ij} / (T_i - T_j) \quad (2)$$

式中 $Q_x$ 为样品 $^{137}\text{Cs}$ 的比活度, $A_x$ 为测量的净面积, $A_0$ 为标准源的净面积, $M_0$ 为标准源的质量, $M_x$ 为样品质量, $T_x$ 、 $T_0$ 分别为测量样品和测量标准源的时间, $Q_0$ 为标准源比活度; $R_i$ 为第*i*和第*j*特征值之间的沉积速率, $D_{ij}$ 是第*i*和第*j*两个沉降峰值之间的沉积物厚度, $T_i$ 和 $T_j$ 分别为第*i*和第*j*沉降峰值所对应的时间,当*i*=0时, $T_0$ 表示采样时间。 $^{137}\text{Cs}$ 分析方法主要是采用Ge(Li)谱仪直接测量的方法。

盐沼的沉积特征和沉积速率是最早被关注的问题之一<sup>[25]</sup>,通过对沉积速率的研究,并与海平面上升研究结果结合起来,可以分析海岸盐沼的淤积对海平面上升的响应过程和特征<sup>[26-29]</sup>;因此,目前仍然是研究的热点问题。自 $^{137}\text{Cs}$ 测年方法提出后,许多研究者开始尝试将该方法利用到海岸盐沼来研究盐沼的现代沉积速率<sup>[8-9, 13, 15, 20]</sup>。

## 2 $^{137}\text{Cs}$ 在沉积层中分布的影响因素

### 2.1 沉积物组分

大气中的 $^{137}\text{Cs}$ 通过海-气界面进入海水中,因为其在海水中具有较高的溶解度,可以与海水中的其他阳离子发生交换而被吸附沉积到海底并被埋藏。沉积物吸附水体中的 $^{137}\text{Cs}$ 强度及 $^{137}\text{Cs}$ 在沉积物中赋存的状态与沉积物的组成特性有关,主要包括沉积物粒度组成和地球化学特性。海洋沉积物不同粒度组分内 $^{137}\text{Cs}$ 含量的研究工作很少见,严平等分析了内陆不同类型土质的粒度特征及各粒度组分中的 $^{137}\text{Cs}$ 含量<sup>[30]</sup>,认为砂质土的 $^{137}\text{Cs}$ 活度与平均粒径之间呈负指数关系,0.1~0.01 mm组分对 $^{137}\text{Cs}$ 含量的影响最为显著,壤质土 $^{137}\text{Cs}$ 活度主要与粗粉砂(0.05~0.01 mm)含量有关,与物理性黏粒含量无关。该研究结果与在海洋环境下的实际分析结果不一致,Simpson等<sup>[31]</sup>、潘少明等<sup>[14]</sup>、孟伟等<sup>[21]</sup>的研究结果均表明在河口海岸环境下的沉积物中 $^{137}\text{Cs}$ 更易富集于细颗粒物。根据Brunskill<sup>[32]</sup>对美国纽约州

Fayetteville Green湖研究结果,富含有机质层位的 $^{137}\text{Cs}$ 含量是有机质含量较少的层位的6倍,因而 $^{137}\text{Cs}$ 具有易富集于有机质的特性。黏土含量较高的细颗粒沉积物有利于有机质的富集,因此也更容易富集水体中的 $^{137}\text{Cs}$ <sup>[9]</sup>。在有机质含量达到10%~20%的盐沼地区, $^{137}\text{Cs}$ 比活度可达到500 dpm/g以上<sup>[9]</sup>;江苏王港地区沉积物有机质含量在2%左右,沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$ 比活度在最大峰值处仅为3 dpm/g<sup>[20]</sup>。

2003年在王港潮滩的大米草滩、互花米草滩分别采集了柱状样,并进行了室内的粒度分析和 $^{137}\text{Cs}$ 分析,具体采样方法、 $^{137}\text{Cs}$ 分析过程及分析数据见王爱军等<sup>[20]</sup>。对王港柱状沉积物样品用英国Malvern公司生产的Mastersizer 2000型激光粒度仪进行粒度分析,并利用矩法计算沉积物粒度参数,然后剔除 $^{137}\text{Cs}$ 沉降特征峰值引起的高 $^{137}\text{Cs}$ 含量,对 $^{137}\text{Cs}$ 含量与各粒度参数进行相关分析。分析结果表明(图1a),随着黏土含量的增高,沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$ 比活度呈乘幂形式增大(两者在 $\alpha=0.01$ 的显著水平上相关,临界相关系数为0.515),这主要与细颗粒物对 $^{137}\text{Cs}$ 的强烈吸附有关。相关分析结果还显示(图1b、c),随着沉积物分选系数和峰态值的增大(分选程度变差、峰值变宽),沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$ 比活度也呈乘幂形式增大(两者在 $\alpha=0.01$ 的显著水平上相关),这与地层中的孔隙水迁移有关<sup>[33-34]</sup>。沉积物的分选系数指示了沉积物粒径分布的集中程度,系数越小,粒径分布越集中,分选越好;峰态是用来度量粒度分布的中部和尾部展形之比,

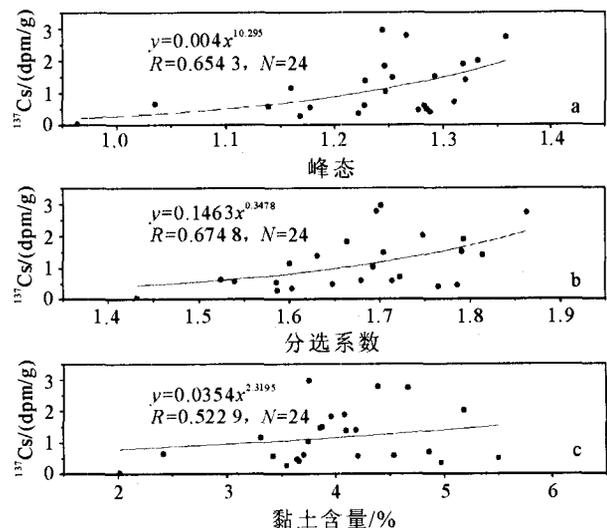


图1 江苏王港柱状沉积物 $^{137}\text{Cs}$ 比活度与沉积物黏土含量、分选系数及峰态之间的关系

Fig. 1 Relationship between  $^{137}\text{Cs}$  activity and clay content, sort coefficient and Kurtness

即衡量分布曲线的峰凸程度,峰态值小,则是窄峰态;随着沉积物峰值的变宽,说明沉积物的分选程度变差,沉积物中的孔隙度变小<sup>[35]</sup>,孔隙水的活动强度也会随之减小,沉积物中<sup>137</sup>Cs的下渗迁移强度降低,地层中得到良好保存的<sup>137</sup>Cs越多。

### 2.2 盐沼生物扰动

通过水-沉积物界面进入海底沉积物中的<sup>137</sup>Cs,其中会有一部分被溶解到孔隙水里并随孔隙水下渗迁移,沿程逐渐被吸附,造成部分沉积物中<sup>137</sup>Cs含量的变化,对解释沉积速率有部分影响<sup>[11]</sup>。如果只有这一过程,则对地层中的<sup>137</sup>Cs剖面分布影响不大;但在海岸盐沼环境中,因为盐生植被的生长,植被根系深入到地层中,对盐沼地层中的沉积层序产生扰动,并伴随地层上部和下部的沉积物发生交换<sup>[26]</sup>,必然会改变地层剖面中<sup>137</sup>Cs的含量分布特征,从而影响到特征峰值的判断,并且这种影响直接受盐沼植被的茂盛与否控制,盐沼植被生长茂盛,根系深入地层较深,从而影响到深部地层中物质埋藏的稳定性;植被生长不茂盛,则根系影响较小;植被的生长程度对判断地层中的<sup>137</sup>Cs特征峰值有着重要的影响。

根据对江苏王港潮滩盐沼生态调查<sup>[36]</sup>,发现王港地区盐沼植被的生物量差别很大。根据作者于1999—2004年多次对现场地层剖面的观测,发现不

同植被的高度、密度差别非常大,根系伸入到地层中的深度差别也很大(表1)。盐蒿由于根系不发达,一般仅深入到表层10cm左右;大米草虽然植株低矮,但植被密度大,根系相对发达,一般可深入到地下40cm左右;而互花米草不仅植株高大,而且根系非常发达,一般根系均可深入到地下70cm左右;有些甚至达到100cm以上。大米草根系深入地下较浅,对地层深部的沉积物扰动不大,根据断面重复测量结果确定剖面中的<sup>137</sup>Cs含量的特征峰值(图2);而互花米草对地层下部的沉积物扰动非常大,地层上下部的沉积物发生交换,地层中的<sup>137</sup>Cs含量被改变,出现了多个峰值,无法判断出真实的特征峰值(图2),从而无法计算沉积物柱状样的沉积速率。

表 1 江苏王港潮滩盐沼生态指标调查结果

Table 1 Statistical data of ecological characteristics in tidal salt marshes, Wanggang

地貌单元	平均株高		平均根系长度	平均密度		洞穴平均个数	
	/cm			/(株/m <sup>2</sup> )		/(个/m <sup>2</sup> )	
	夏季	秋季	/cm	夏季	秋季	夏季	秋季
盐蒿滩	20.6	24.8	10	46	70	23	48
大米草滩	8.7	18.4	40	353	706	21	35
互花米草滩	112	182	70	73	122	27	22

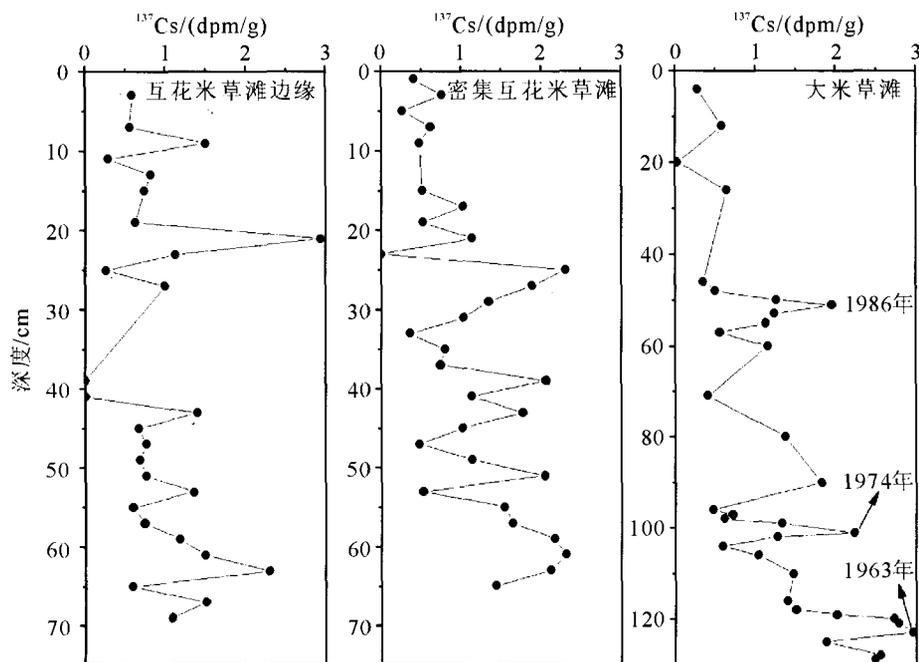


图 2 江苏王港潮滩盐沼植被影响下的<sup>137</sup>Cs含量的剖面分布(据文献[20])

Fig. 2 <sup>137</sup>Cs profile influenced by salt marsh vegetation (from reference[20])

此外,盐沼地区还有很多底栖动物,现场调查发现蟹、螺等,它们穴居于盐沼内,穴居密度为21~48个/m<sup>2</sup>不等(表1),且洞穴深度也不同,有的洞穴深达100cm以上。洞穴的存在对地层中沉积物的扰动主要体现在两个方面:一方面,动物在挖掘洞穴过程中的物质搬运使得沉积地层中的物质发生被动迁移;另一方面,涨潮初期的潮水悬沙浓度较高,这些水体在达到有洞穴的地区就会进入洞穴,落潮后,洞穴中的水体通过渗透而流失,但水体中的悬沙却大多被留在了洞穴内,改变了地层内原有的沉积物;这对<sup>137</sup>Cs剖面分布有着非常重要的影响。Sharma等<sup>[9]</sup>对此进行了比较深入的研究,发现在生物洞穴很少的盐沼内,能够清晰地判断出<sup>137</sup>Cs的特征峰值,但在生物洞穴非常多的盐沼内,整个剖面上的<sup>137</sup>Cs分布较为均匀(图3)。

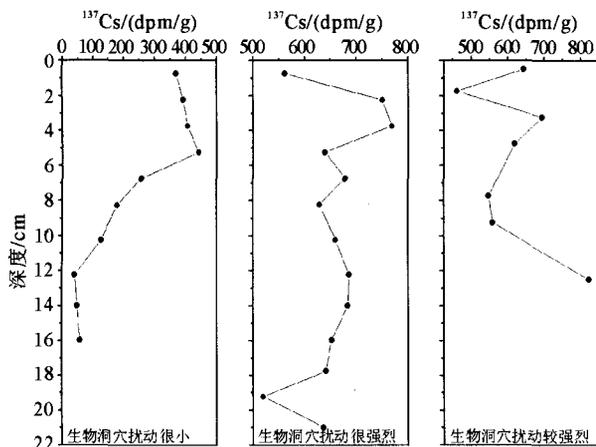


图3 生物洞穴扰动影响下的<sup>137</sup>Cs含量的剖面分布(据文献<sup>[9]</sup>)

Fig. 3 <sup>137</sup>Cs profile disturbed by animal burrows (from reference<sup>[9]</sup>)

### 3 结语

(1)<sup>137</sup>Cs测年方法作为一种新的年轻年代学方法,已逐渐应用于各个领域来测定现代沉积速率,为研究现代湖泊、海洋、海岸等的现代沉积过程提供了一个较为精确的技术手段。通过<sup>137</sup>Cs测年方法,可以计算海岸盐沼的沉积速率,但同时也受很多因素的限制。盐沼沉积物中的黏土含量、有机质含量以及沉积物的分选程度均对<sup>137</sup>Cs的富集具显著的影响,已有研究表明,有机质含量相差10倍,<sup>137</sup>Cs比活度可相差100多倍以上,这对准确反映<sup>137</sup>Cs沉降峰值有一定的影响。

(2)<sup>137</sup>Cs测年方法在生物扰动较小的海岸盐沼

环境中可以清晰地判断出特征沉降峰值,但在盐沼植被根系发达、穴居底栖动物活跃的盐沼内,地层中的沉积物上下物质交换较为频繁,无法判断出特征沉降峰值,为精确定年带来了困难。

(3)<sup>137</sup>Cs测年方法在海岸盐沼中的应用还具有较大的局限性,在<sup>137</sup>Cs特征沉降峰值的判断方面,要结合多种方法进行相互验证,以此来保证判断的准确性,比如结合断面重复测量、<sup>210</sup>Pb测年等方法进行相互验证;在柱状样取样过程中,尽可能选择有机质比较丰富的地区,这样有利于提高<sup>137</sup>Cs比活度的灵敏性,有助于准确判断特征沉降峰值;<sup>137</sup>Cs测年的可靠性是以<sup>137</sup>Cs在沉积物中的赋存状态的稳定性为基础的,但在盐沼生物扰动的情况下,<sup>137</sup>Cs在沉积物中很难保持稳定,因此,需要针对<sup>137</sup>Cs测量图谱信息进行深度提取,期望能够提取出更多的信息进行综合分析,以保证特征沉降峰值判断的准确性。

致谢:南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室的潘少明教授、国家海洋局第二海洋研究所的贾建军副研究员对本文的数据解释和文献查询给予了帮助,审稿人提出了许多宝贵的意见和建议,谨致谢忱!

### 参考文献 (References)

- [1] Pethick J S. Salt marsh geomorphology[M]//Allen J R L, Pye K (eds). Salt Marshes: Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance. Cambridge, England, Cambridge University Press, 1992:41-62.
- [2] 高抒,朱大奎. 江苏淤泥质海岸剖面的初步研究[J]. 南京大学学报自然科学版, 1988, 24(1): 75-84. [GAO Shu, ZHU Dakui. The profile of Jiangsu's mud coast[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition), 1988, 24(1): 75-84.]
- [3] Stoddart D R, Reed D J, French J R. Understanding salt-marsh accretion, Scolt Head Island, Norfolk, England[J]. Estuaries, 1989, 12(4): 228-236.
- [4] 陈才俊. 江苏淤长型淤泥质潮滩的剖面发育[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(4): 360-368. [CHEN Cai-jun. Development of depositional tidal flat in Jiangsu Province[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1991, 22(4): 360-368.]
- [5] Chmura G L, Coffey A, Crago R. Variation in surface sediment deposition on salt marshes in the Bay of Fundy[J]. Journal of Coastal Research, 2001, 17(1): 221-227.
- [6] Goldberg E D, Koide M. Rates of sediment accumulation in the Indian Ocean[M]//Earth Science and Meteoritics. Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1963:90-102.
- [7] Robbins J A, Edgington D N. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1975, 39: 285-304.

- [8] Delaune R D, Patrick W H, Bursch R J. Sedimentation rates determined by <sup>137</sup>Cs dating in a rapidly accreting salt marsh [J]. *Nature*, 1978, 275: 532-533.
- [9] Sharma P, Gardner L R, Moore W S, et al. Sedimentation and bioturbation in a salt marsh as revealed by <sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs, and <sup>7</sup>Be studies [J]. *Limnology and Oceanography*, 1987, 32(2): 313-326.
- [10] Ritchie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and sediment accumulation rates and patterns: a review [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1990, 19: 215-233.
- [11] 李文权, 李淑英. <sup>137</sup>Cs法测定厦门西港和九龙江口现代沉积物的沉积速率 [J]. *海洋通报*, 1991, 10(3): 63-68. [LI Wen-quan, LI Shu-ying. Determination of recent sedimentation rates in Xiamen western harbour and Jiulong River estuary by means of <sup>137</sup>Cs [J]. *Marine Science Bulletin*, 1991, 10(3): 63-68.]
- [12] Milan C S, Swenson E M, Turner R E, et al. Assessment of the <sup>137</sup>Cs method for estimating sediment accumulation rates: Louisiana salt marshes [J]. *Journal of Coastal Research*, 1995, 11(2): 296-307.
- [13] Callaway J C, Delaune R D, Patrick W H. Chernobyl Cs-137 used to determine sediment accretion rates at selected north European coastal wetlands [J]. *Limnology and Oceanography*, 1996, 41(3): 444-450.
- [14] 潘少明, 朱大奎, 李炎, 等. 河口港湾沉积物中的<sup>137</sup>Cs剖面及其沉积学意义 [J]. *沉积学报*, 1997, 15(4): 67-71. [PAN Shao-ming, ZHU Da-kui, LI Yan, et al. <sup>137</sup>Cs profile in sediments in estuaries and its application in sedimentology [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(4): 67-71.]
- [15] Orson R A, Warren R S, Niering W A. Interpreting sea level rise and rates of vertical marsh accretion in a southern New England tidal salt marsh [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1998, 47: 419-429.
- [16] 万国江. 现代沉积年分辨的<sup>137</sup>Cs计年——以云南洱海和贵州红枫湖为例 [J]. *第四纪研究*, 1999, 19(1): 73-80. [WAN Guo-jiang. The <sup>137</sup>Cs dating of annual layers of recent sediments: examples from Hongfeng Lake and Erhai Lake [J]. *Quaternary Sciences*, 1999, 19(1): 73-80.]
- [17] 夏小明, 谢钦春, 李炎, 等. 东海沿岸海底沉积物中的<sup>137</sup>Cs、<sup>210</sup>Pb分布及其沉积环境解释 [J]. *东海海洋*, 1999, 17(1): 20-27. [XIA Xiao-ming, XIE Qin-chun, LI Yan, et al. <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb profiles of the seabed cores along the East China Sea coast and their implications to sedimentary environment [J]. *Donghai Marine Science*, 1999, 17(1): 20-27.]
- [18] Andersen T J, Mikkelsen O A, Moller A L, et al. Deposition and mixing depths on some European intertidal mudflats based on <sup>137</sup>Cs dating technique [J]. *Continental Shelf Research*, 2000, 20: 1 569-1 591.
- [19] 李建芬, 王宏, 夏威夷, 等. 渤海湾西岸<sup>210</sup>Pb<sub>exc</sub>、<sup>137</sup>Cs测年与现代沉积速率 [J]. *地质调查与研究*, 2003, 26(2): 114-128. [LI Jian-fen, WANG Hong, XIA Wei-lan, et al. <sup>210</sup>Pb<sub>exc</sub> and <sup>137</sup>Cs dating and modern sedimentation rate on the western coast of Bohai Gulf [J]. *Geological Survey and Research*, 2003, 26(2): 114-128.]
- [20] 王爱军, 高抒, 贾建军, 等. 江苏王港盐沼的现代沉积速率 [J]. *地理学报*, 2005, 60(1): 61-70. [WANG Ai-jun, GAO Shu, JIA Jian-jun, et al. Sedimentation rates in the Wanggang salt marshes, Jiangsu [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 61-70.]
- [21] 孟伟, 雷坤, 郑丙辉, 等. 渤海湾西岸潮间带现代沉积速率研究 [J]. *海洋学报*, 2005, 27(3): 67-72. [MENG Wei, LEI Kun, ZHENG Bing-hui, et al. Modern sedimentation rates in the intertidal zone on the west coastal zone of the Bohai Gulf [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 27(3): 67-72.]
- [22] Lu X Q, Matsumoto E. Recent sedimentation rates derived from <sup>210</sup>Pb and <sup>137</sup>Cs methods in Ise Bay, Japan [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 65: 83-93.
- [23] Appleby P G. Radiometric dating of the United Kingdom SWAP sites [J]. *Philosophy Royal Society of London*, 1990, 327: 233-238.
- [24] Jha S K, Chavan S B, Pandit G G, et al. Geochronology of Pb and Hg pollution in a coastal marine environment using global fallout <sup>137</sup>Cs [J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2003, 69: 145-157.
- [25] Frey R W, Basan P B. Coastal salt marshes [M] // Davis R A (editor). *Coastal Sedimentary Environment*. Springer-Verlag, New York, 1985, 225-301.
- [26] French J R. Numerical simulation of vertical marsh growth and adjustment to accelerated sea-level rise, North Norfolk, U. K. [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1993, 18: 63-81.
- [27] Roman C T, Peck J A, Allen J R L, et al. Accretion of a New England (USA) salt marsh in response to inlet migration, storms and sea-level rise [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1997, 45: 717-727.
- [28] van Wijnen H J, Bakker J P. Long-term surface elevation change in salt marshes: a prediction of marsh response to future sea-level rise [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2001, 52: 381-390.
- [29] Crooks S. The effect of sea-level rise on coastal geomorphology [J]. *Ibis*, 2004, 146(SP1): 18-20.
- [30] 严平, 高尚玉, 董光荣. 土壤颗粒组成影响<sup>137</sup>Cs含量的初步实验结果 [J]. *中国沙漠*, 2002, 22(2): 150-153. [YAN Ping, GAO Shang-yu, DONG Guang-rong. Experimental results of the soil <sup>137</sup>Cs activity as influenced by particle size [J]. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(2): 150-153.]
- [31] Simpson H J, Olsen C R, Trier R M, et al. Man-made radionuclides and sedimentation in the Hudson River Estuary [J]. *Science*, 1976, 194: 179-183.
- [32] Brunskill G J. Fayetteville Green Lake, USA, VIII, Mass balance for <sup>137</sup>Cs in water, varved and non-varved sediments [J]. *Chemical Geology*, 1984, 44: 85-100.
- [33] Davin R B. <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb dating of sediments from soft-water lakes in New England (USA) and Scandinavia, a failure of

- <sup>137</sup>Cs dating[J]. *Chemical Geology*, 1984, 44: 151-185.
- [34] 项亮. <sup>137</sup>Cs 湖泊沉积年代学方法应用的局限——以 Crawford 湖为例[J]. *湖泊科学*, 1995, 7(4): 307-313. [XIANG Liang. Limitations of the application of <sup>137</sup>Cs limnchronology: a case study of <sup>137</sup>Cs profile in Crawford lake sediment[J]. *Journal of Lake Sciences*, 1995, 7(4): 307-313.]
- [35] Rogers J J W, Head W B. Relationships between porosity, median size, and sorting coefficients of synthetic sands[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1961, 31(3): 467-470.
- [36] 陈一宁, 高抒, 贾建军, 等. 米草属植物 *Spartina angelica* 和 *Spartina alterniflora* 引种后江苏海岸湿地生态演化的初步探讨[J]. *海洋与湖沼*, 2005, 36(5): 394-403. [CHEN Yi-ning, GAO Shu, JIA Jian-jun, et al. Tidal flat ecological changes by transplanting *Spartina angelica* and *Spartina alterniflora*, north Jiangsu coast[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(5): 394-403.]

## APPLICATION OF <sup>137</sup>Cs CHRONOLOGY TO COASTAL SALT MARSHES

WANG Ai-jun<sup>1</sup>, GAO Shu<sup>2</sup>, Chen Jian<sup>1</sup>

(1 Open Lab of Ocean & Coast Environmental Geology, Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005, China;

2 Ministry of Education Key Laboratory for Coast and Island Development, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** Salt marshes are a widespread coastal and estuarine environment, and geomorphologically are composed of an approximately leveling, vegetated platform dissected by network of typically blind-ended channels. It is important for studying the depositional processes and sedimentation rates to understand deeply the interaction between human activities and coastal system. <sup>137</sup>Cs chronology is an effective technique for studying modern sedimentation rates since 20 years. <sup>137</sup>Cs is an artificial radioactive isotope introduced into the natural environment since the start of the atmospheric nuclear weapon testing in the 1950s. <sup>137</sup>Cs can be exchanged and adsorbed in the surface sediment and buried through the air-water interface and water-sediment interface, and four dating markers (1954, 1963, 1974 and 1986) which correspond to the onset and peaks discharge of <sup>137</sup>Cs can be identified and the sedimentation rates in different periods can be calculated. <sup>137</sup>Cs chronology is used widely to study sedimentation rates in lakes, continental shelves, bays and tidal flats, and gives better study results. The <sup>137</sup>Cs chronology needs high stability of strata in study area, and its concentration is influenced by clay content and sorting degree of sediments. The root system of the salt marsh vegetation can extend deeply downwards and disturb the stratum sequence. Then it is difficult to identify the characteristic peak, and thus other techniques are needed to do comprehensive estimation.

**Key words:** <sup>137</sup>Cs; sedimentation rates; coastal salt marshes