

流域人类活动对三角洲演变影响研究进展

Progress in studying on the delta evolution influenced by the human activity

赵华云¹, 戴仕宝^{1,2}, 杨世伦¹, 李 鹏¹, 郜 昂¹

(1. 华东师范大学 河口海岸国家重点实验室, 上海 200062; 2. 滁州学院 地理系, 安徽 滁州 239012)

中图分类号: TV148 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2007)12-0083-05

三角洲的形成系陆、河、海共同作用的产物, 三角洲的演变对于陆海相互作用 (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, LOICZ) 具有敏感的和重要的指示意义, 对三角洲演变的研究已经成为全球变化研究的一个重要方面。例如, IGBP-LOICZ 第一期工作是以海岸带物质通量和循环特征为中心^[1], 而今后 10 a 将侧重于海岸带过程的系统分析^[2], 其中包括“入海物质总量及其变化对海岸带的影响”、“陆源物质在海岸带的归宿和转换”、“海岸带资源可持续性利用”及“海岸带风险与安全”。2004 年 1 月在泰国曼谷召开的亚洲第五届海洋地质学会列出了两个相关的议题, 即“人类活动对海岸带及其可持续发展的影响”(Human Impacts on the Coastal Zone and Sustainable Development) 和“亚洲的三角洲: 形成及近来的变化”(Asian Deltas: Evolution and Recent Changes)。AGCP-475 DeltaMAP (Deltas in the Monsoon Asia-Pacific Region) 研究计划(2003~2007 年)的研究对象是亚洲-太平洋季风区的三角洲, 特别是黄河、长江、湄公河、伊洛瓦底江、恒河、印度河、珠江、红河等大河三角洲, 其目标之一是“流域人类活动(建坝、引水、土地利用)对三角洲过程的影响”和“重要地质灾害潜力及可能对策”^[3]。三角洲的演变研究不仅具有重要的学术意义, 而且也将对人类产生重大影响。

在三角洲形成和演变过程中, 由河流带来的泥沙是具有决定性的一个因素。因此, 对流域泥沙的产生和输移产生影响的一切自然(如地震、火山喷发、气候变化等)和社会因素(各种人类活动)将对三角洲演变产生影响。人类自诞生之日起就与河流密不可分。人类在劳动中既改变了自身, 也改变了流域系统。目前, 大规模的流域(土地)开发、水库枢纽的建设、流域的取水和调水等高强度的人类活动已对河流泥沙的来源和输移产生了深刻的影响, 并进而对三角洲演变产生了深刻的影响^[4-6]。从流域人类活动对三角洲演变影响的角度, 作者对国内外近年来的研究进行综述。

1 流域(土地)开发与三角洲演变

因为长期历史资料的缺乏, 或者是因为人们理所当然地认为流域(土地)开发与三角洲演变具有密切关系的缘故, 近年来国内外系统地流域(土地)开发与三角洲演变的专门研究文献并不多见。但是, 在对三角洲研究的过程中, 也有很多研究考虑到了人类活动对三角洲演变的影响^[7-9]。一些研究发现, 人类活动加速了三角洲的演变历程^[10]。而另外的研究也发现, 人类活动并未导致一般预期的河流含沙量的显著增加和三角洲的快速增长^[11]。由于长期历史资料的缺乏等原因, 多数的研究具有宏观时间尺度($10^2 \sim 10^3$ a)定性研究的性质, 所得出的数据也是推断性质的, 基于长时期观测数据的定量研究尚不多见。Guillen^[12]、陈吉余^[13,14]、许炯心^[15,16]等的研究具有一定的代表性。

据 Guillen 研究^[12], 近 2 000 a 来, Ebro 河口三角洲的演化可以分为 3 个阶段: 第一个阶段是公元以来的头 12 个世纪, 该阶段对应于罗马时期以及阿拉伯人对伊比利亚占领的大部分时期。此时, 人类活动在此流域刚刚开始, 河流输沙量约为 6×10^6 t/a, 岸线以平均每年 10 m 的速率向海推进, 河口三角洲逐渐形成; 第二个阶段是 13 到 19 世纪。在此阶段, 流域人类活动大大增强, 活动方式也由林转农。这一变化导致了水土流失的增强和三角洲的快速增长。在 13 到 15 世纪, 岸线的推进速率为 30 m/a。而在 1500~1650 年间, 因为大肆砍伐森林, 岸线的推进速率达到了 50 m/a。在 19 世纪, 河流输沙量达到约为 25×10^6 t/a。第三个阶段是 20 世纪。此阶段由于水库的

收稿日期: 2004-11-24; 修回日期: 2007-08-22

基金项目: 国家重点基础研究项目(2002CB412407); 国家自然科学基金项目(40076027)

作者简介: 赵华云(1979-), 女, 山东烟台人, 硕士, 研究方向: 动力沉积与动力演变, E-mail: sicon2003@163.com

大量建设,入海泥沙减少,导致河口三角洲淤涨停止并发生了侵蚀。

陈吉余等^[13,14]研究了长江三角洲的海岸线推进与人类活动的关系,指出:长江三角洲海岸线在公元3 000~4 000年间,岸线推进的速度很慢,平均每百年仅为100~300 m。然而在人类大量开发长江流域的山地,加大河流的固体径流后,三角洲海岸的伸展速度才迅速加快起来。历史资料表明:长江流域山地开垦主要在孙吴征服山越(公元3世纪)和晋室东渡(公元4世纪)以后,而盛于隋唐。所以长江三角洲海岸的伸展在隋唐以后,更见迅速。

许炯心^[15,16]以近50 a来的观测资料和公元1194年以来苏北废黄河和现代黄河的历史文献资料为基础,在宏观时间尺度上($10^2 \sim 10^3$ a)研究了人类活动对黄河口延伸速率的影响。结果表明:废黄河口的延伸可以分为两个阶段,1194~1578年为第一阶段。此时人类活动强度较弱,大片的土地尚为草场或灌木、疏林,因而流域产沙强度处于较低水平,河口延伸速率较慢,平均速率为33 m/a;1579~1855年为第二阶段,河口延伸速率大大加快。原因首先是“束水攻沙”治理策略的成功推行;其次是因为进入明代以后,黄土高原战乱平息,人口增加,农业发展使农牧区界向北推移。川谷平原的开垦和坡耕地面积扩大,由此导致了丘陵沟壑区的侵蚀强度大为增加,入黄泥沙也随之增加。1579~1855年间不同时期中的河口延伸速率均在100 m/a以上,平均为136 m/a,远远高于前一时期。1855年以来现代黄河河口延伸速率的变化与人类活动密切相关。首先是1855~1949年间,河口发展延续了其自然的发展状态,河口延伸速率相对较慢;其次是20世纪的50~60年代,因人口的急剧增加和由此而引起的破坏植被和陡坡开荒,使得河口延伸速率显著增加。再次,从20世纪60年代初开始,水土保持工作逐渐在黄河中游、上游流域中展开,到70年代后,更发展到很大的规模。这使得黄河入海泥沙大大减少,河口延伸速率显著下降。

上述研究揭示了流域(土地)开发与三角洲演变关系的基本模式,即:在人类活动初期,由于人口稀少,生产力低下,人类活动以林为主,流域泥沙侵蚀微弱,三角洲伸展缓慢;随着时间的推移,因人口的增加和生产力水平的提高,以及人类活动由林转农,流域侵蚀开始增强,河口延伸速率显著增加,这一过程的延续时间在不同的流域有不同的表现;此后,由于水土保持工作的逐渐开展,流域生态逐渐恢复,河流入海泥沙大大减少,河口延伸速率显著下降。

2 流域水库建设与三角洲演变

因防洪、发电、灌溉、通航等的需要而建设水库是20世纪人类的一项重要活动。如果没有调水的发生,水库建设一般不会导致河流入海径流的显著减少。但水库建设对泥沙的拦蓄作用却非常明显,导致河流入海泥沙大大减少,河口三角洲也因此伸展缓慢或发生侵蚀。这一现象已引起很多研究者的关注^[17~34]。

Fanos的研究表明^[17],尼罗河在阿斯旺大坝建立以前,年泥沙输送量为 $100 \times 10^6 \sim 124 \times 10^6$ t。而现在,年泥沙输送量仅为以前的10%。在Rosetta和Damietta两大支流河口形成的岬角自20世纪60年代以来遭受了严重的侵蚀,在某些年份海岸后退的速率分别达到100 m/a和50 m/a。

在西班牙的Ebro河^[18,19],自上世纪60年代的Ribarroja-Mequinenza水库枢纽建立后,96%的泥沙被滞留。这导致河口三角洲淤涨停止并发生了侵蚀。美国的科罗拉多河以前的年输沙量为 150×10^6 t^[20],由于流域的调水和水库的建设,使入海的泥沙大大减少,并导致河口三角洲发生侵蚀。

长江入海的泥沙减少的问题因三峡工程的建设而引起了广泛的关注。据研究^[21],自1958~2000年,悬沙浓度由 0.62 kg/m^3 变为 0.35 kg/m^3 ,下降了43.5%,输沙量由 5.23×10^8 t/a变为 3.22×10^8 t/a,下降了36.6%,而同期年径流量则增加了14%。研究认为,流域筑坝是导致长江入海的泥沙减少的主要原因。自20世纪60年代以来,长江流域建设的水库超过了 1×10^4 座,总库容量以及被拦蓄的泥沙量迅速增长。长江来沙的锐减正在导致三角洲前缘滩涂由淤涨向侵蚀转变^[22]。2003年三峡水库蓄水以来,由于水库的拦沙作用,长江入海泥沙进一步减少,2003~2005年平均输沙量仅为 1.7×10^8 t/a。李鹏等^[23]对长江口外水下三角洲的近期变化的研究表明,1995~2000年、2000~2004年和2004~2005年淤积(冲刷)面积分别占75.5%(24.5%)、30.5%(69.5%)和14%(86%),垂向冲淤速率(负为冲刷)分别为6.4 cm/a、-3.8 cm/a和-21 cm/a,并认为2004~2005年的冲刷加强与三峡水库的蓄水运用有直接关系。

此外,欧洲的多瑙河^[24]、Rhône河^[25](法国)、Kokemaenjoki河^[26](芬兰)、顿河^[27](俄罗斯)、非洲的Niger河^[28]、Volta河^[29]、Senegal河^[30]、美国的Skokomish河^[31],以及中国的滦河^[32,33]、南渡江^[34]等也出现了类似的现象。事实上,因水库建设而导致的河流入海泥沙减少已成为全球普遍的现象。迄今为止,全球共修建大型水坝约39 000座,水库面积

50 万 km²。全球水库总库容与全球河流入海径流总量之比在 1990 年为 13%，到本世纪初上升至 20%^[35]。因水库建设而导致的河流入海泥沙减少的现象已引起很多国家的高度关注，新西兰海岸学会也把“主要水库、调水和取水工程对新西兰海岸沉积物的影响”作为其 2004 年会的主要议题^[36,37]。

3 流域取水调水与三角洲演变

流域取水调水常与水库建设密切相关，但二者对河流的水沙状况的影响却有不同，如果说水库本身影响的重点在沙，那么流域取水调水则重点在水。在河流-三角洲系统中，水沙状况息息相关，水的变化必然引起沙的变化。

在美国，科罗拉多河由于入海径流的减少，改变了科罗拉多河三角洲地区的水循环机制，导致了河口三角洲地区沉积动力机制的变化^[17]。在科罗拉多河被改造之前，河口锋向南伸展得很远，占据了大半个北加利福尼亚湾。当时水的循环和泥沙的输移是单向的，主要是从河向海的东北-西南向。科罗拉多河三角洲海岸是世界上最强潮海岸之一，水沙的减少，阻止了三角洲的伸展，致使三角洲暴露在侵蚀的强大的水动力条件下。潮流沿海湾东侧向西北流动，穿过 Sonora 汉道，转而沿 Baja California 汉道向南流动。而在两岸的中间地区则形成了受潮流控制的逆时针的水循环和泥沙运移机制。由此，由于入海径流的减少，科罗拉多河河口已进入“逆河口”状态，河口区域的盐度比临近海域的盐度还高。强大的潮流促进了河口东侧沉积物的再悬浮和泥沙的侵蚀，被侵蚀的泥沙通过 Sonora 通道，沿西侧海岸扩散。该研究显示，人类活动可以引起三角洲的急剧变化：通过水循环动力机制的改变，引起沉积物的重新分配，在某些地方侵蚀的同时，也在另外一些地方在相对较短时间内又形成了新的陆地。

在密西西比河流域，由于大量取用河水，从 1963 ~ 1989 年，泥沙输送减少了 40%，这成为导致河口三角洲发生侵蚀的主要原因^[3]。相似的情形也发生在美国东北部的 Skokomish 河上。由于 40% 的河水被抽取，虽然近岸的水下三角洲年均淤积 1.1 ~ 1.3 cm/a，但外侧的水下三角洲却以每年 1.1 ~ 3.3 cm/a 的速率发生侵蚀。

自 1976 年以来，黄河年径流量及输沙量比黄河多年的平均年径流量和输沙量均有降低。1976 ~ 1995 年，进入河口地区的平均年径流量为 271.6 × 10⁸ m³，平均年输沙量为 6.59 × 10⁸ t，分别为多年平均值的 46.8% 和 41.2%。1972 年，黄河入海口利津水文站首次出现断流。此后，黄河断流日益严重。进入 1990 年后，断流历时越来越长，甚至伏秋大汛期也

长时间断流。1997 年更创下断流 226 d 的纪录。研究发现，黄河中、上游截流和用水量的增加以及小浪底工程修建等，是黄河下游断流频繁且严重的原因^[38~40]。近几年由于黄河经常断流，淤积速度减慢，淤积主要发生在洪水季节。冬、春季及黄河断流期间，入海口淤积缓慢甚至处于侵蚀状态。

流域取水调水还会带来其他的一些影响，如地面沉降与洪涝灾害^[41,42]、三角洲湿地生态的变化等^[43~45]。据研究^[42]，20 世纪后半叶以来，由于大量抽取河水及地下水，意大利的波河平原及三角洲地区发生了广泛的地面沉降，沉降速率最大达 70 mm/a。同时研究发现，地面沉降的幅度与遭洪水淹没的深度和频率间存在着很好的相关性。

三角洲湿地不仅是三角洲重要的组成部分，而且对三角洲的冲淤演变有直接的影响。流域的取水调水通过对三角洲湿地生态变化的影响也影响了三角洲的演变。近年来的研究发现^[43]，在科罗拉多河，因建筑水库和流域取水而带来的剧烈的人文条件的变化，不仅对本地的植被产生了严重生态影响，而且也改变了水循环系统，这种改变进而导致了本地物种的消失。黄河断流也对三角洲的湿地生态系统造成了严重的影响^[39,40]。

4 调水调沙与三角洲演变

黄河调水调沙试验是人类治黄史上开展的大规模、系统的、有计划的调水调沙试验，目的是通过水库联合调度、泥沙扰动和引水控制等手段，把不同来源区、不同量级、不同泥沙颗粒级配的不平衡的水沙关系塑造成协调的水沙过程，从而实现下游河道的减淤甚至全线冲刷^[46]。自 2002 年首次在黄河开展调水调沙试验以来，取得了非常令人满意的效果，河道冲刷明显，过流能力增强。如 2004 年的黄河调水调沙试验，使得利津以下河槽冲刷了约 0.114 × 10⁸ t，标准水位下主槽平均河底高程降低 0.105 m，其中利津水文站冲刷厚度达到了 0.43 m，平滩流量增加值为 110 m³/s。与此同时，调水调沙试验也对三角洲的演变带来明显的变化。调水调沙使河口地区水量在一特定时期内相对增加，有效地缓解了河口区湿地面积的缩小和盐碱程度的加剧，淡化了河口区域内水质污染的严重程度，使得湿地内的自然资源和自然环境得到有效管理和保护，生态环境质量明显提高。另外，调水调沙使大量泥沙集中而不是在分散状态下注入渤海，使得河口造陆速率相对加强，湿地面积大幅增加，此既为河口生态环境的持续和良性发展提供了广阔的发展空间，也在一定程度上遏止了因岸线蚀退所带来的负面影响。仅 2005 年第四次调水调沙就使新淤地向海推进 1.6 km，新增湿地 1 300 ha^[47]。

5 结论

近年来,流域人类活动对三角洲演变影响已引起广泛关注,取得了一些重要进展。特别值得注意的是,河流入海泥沙减少已成为当前全球的普遍现象,由此带来的三角洲淤积减慢和遭受侵蚀的发展趋势、三角洲地面沉降与洪涝灾害、三角洲湿地生态的变化等影响也已逐渐显现。据估计,全球河流入海泥沙的总量已较过去减少了30%左右。由于水文资料的缺乏或其时间序列不够长,世界上大多数河流的入海泥沙量减少趋势未被揭示,尽管这种趋势实际上已经发生。例如,全球21条大河流中,只有5条河流的资料序列是足够长的^[48]。世界很多三角洲正经历着由快速淤积到淤积减慢再到侵蚀的发展趋势,而流域的水库枢纽的建设、取水和调水、河道采沙、坡地退耕还林等造成的入海水沙的减少是主要原因,尽管有些河流入海水沙的变化是自然和人类活动或多种人类活动综合作用的结果^[49];研究方法上定性和定量相结合,各种观测数据和新的观测和分析方法(RS, GIS)被加以利用,三角洲过程的系统分析受到重视;运用预测模型,对未来三角洲的演变进行了预测。

尽管如此,目前对流域人类活动对三角洲演变影响的一些基本问题和过程仍然了解不够,如影响模式问题、影响程度问题以及三角洲演变中各种干扰因素问题。为此,作者提出如下今后的几点研究建议:(1)加强流域(气候、水文、水土流失、建坝后水库淤积、调水调沙、河床采沙等)和三角洲(地形、沉积物、海平面及波、潮等动力)基础资料的积累。(2)以河流入海水沙变化为纽带,进行流域要素和三角洲演变的系统分析。(3)发展三角洲对流域变化响应的定性和定量模型。(4)重视流域重大工程对三角洲影响的预测和工程后的监测、验证。(5)加强国际合作,开展不同河流-三角洲系统的对比研究。

参考文献:

[1] Pernetta J C, Milliman J D. Land-Ocean interactions in the coastal zone: implementation plan [R]. United Kingdom: International Geosphere-Biosphere Programme, 1995. 215.

[2] LOICZ IPO. LOICZ future-beyond: LOICA 2002 [R]. The Netherlands: LOICA 2002. 16.

[3] IGCP-475 DeltaMAP. Outline of IGCP-475 Deltas in the Monsoon Asia-Pacific region (DeltaMAP) [EB/OL]. http://unit.aist.go.jp/igg/rg/cug/rg/ADP/ADP_E/a_about_en.html, 2007-05-01.

[4] Trenhaile A S. Coastal Dynamics and Landforms [M]. Oxford: Clarendon press, 1997.

[5] Bird E C F. Beach Management [M]. New York:

John Wiley & Sons, 1996.

[6] 杨世伦. 海岸环境与地貌过程导论 [M]. 北京: 海洋出版社, 2003.

[7] Mikhailova V. The hydrological regime and the peculiarities of formation of the Po River Delta [J]. *Water Resources*, 2002, **29** (4): 370-380.

[8] Mikhailov N, Kravtsova V I, Magritskii D V. Hydrological and morphological processes in the Kura River Delta [J]. *Water Resources*, 2003, **30** (5): 495-508.

[9] Lles A F, De Beaulieub J L, Succ J P, et al. Evidence for an early land use in the Rhône Delta (Mediterranean France) as recorded by late Holocene fluvial paleoenvironments (1640-100 BC) [J]. *Geodinamica Acta*, 2000, **13**: 377-389.

[10] Liu J T, Yuan P B, Hung J J. The coastal transition at the mouth of a small mountainous river in Taiwan [J]. *Sedimentology*, 1998, **45** (5): 803-816.

[11] Thi K O T, Van L N, Tateishi M, et al. Holocene delta evolution and sediment discharge of the Mekong River, southern Vietnam [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2002, **21** (16-17): 1 807-1 819.

[12] Guillén J, Palanques A. A historical perspective of the morphological evolution in the lower Ebro River [J]. *Environmental Geology*, 1997, **30** (3-4): 174-180.

[13] 陈吉余. 长江三角洲江口段的地形发育 [A]. 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴. 长江河口动力过程和地貌演变 [C]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 38-47.

[14] 陈吉余, 恽才兴, 徐海根, 等. 两千年来长江河口发育的模式 [A]. 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴. 长江河口动力过程和地貌演变 [C]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 31-37.

[15] 许炯心. 人类活动对公元 1194 年以来黄河河口延伸速率的影响 [J]. *地理科学进展*, 2001, **20**: 1-9.

[16] Xu Jiongxin. Sediment flux to the sea as influenced by changing human activities and precipitation: example of the Yellow River, China [J]. *Environmental Management*, 2003, **31** (3): 328-341.

[17] Fanos A M. The impact of human activities on the erosion and accretion of the Nile Delta coast [J]. *Journal of Coastal Research*, 1995, **11** (3): 821-833.

[18] Narcis P, Carles I. Effects of water transfers projected in the Spanish National Hydrological Plan on the ecology of the lower Ebro River (N. E. Spain) and its delta [J]. *Water Science Technology*, 1995, **31** (8): 79-86.

[19] Mikhailova M V. Transformation of the Ebro River Delta under the impact of intense human-induced reduction of sediment runoff [J]. *Water Resources*, 2003, **30** (4): 370-378.

[20] Carriquiry J D, Sanchez A. Sedimentation in the

- Colorado River Delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss [J]. **Marine Geology**, 1999, 158:125-145.
- [21] Yang S L, Zhao Q Y, Belkin I M. Temporal variation in the sediment load of the Yangtze River and the influences of the human activities [J]. **Journal of Hydrology**, 2002, 263:56-71.
- [22] 李明, 杨世伦, 李鹏, 等. 长江来沙锐减与海岸滩涂资源的危机 [J]. **地理学报**, 2006, 61(3):282-288.
- [23] 李鹏, 杨世伦, 戴仕宝, 等. 近 10 年长江口门区水下三角洲的冲淤变化——兼论三峡工程蓄水的影响 [J]. **地理学报**, 2007, 62(7):707-716.
- [24] Panin N, Jipa D. Danube River sediment input and its interaction with the North-western Black Sea [J]. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 2002, 54:551-562.
- [25] Fassetta G A. River channel changes in the Rhone Delta (France) since the end of the Little Ice Age: geomorphological adjustment to hydroclimatic change and natural resource management [J]. **Catena**, 2003, 51:141-172.
- [26] Ojala E, Louekari S. The merging of human activity and natural change: Temporal and spatial scales of ecological change in the Kokemaenjoki River Delta, SW Finland [J]. **Landscape and Urban Planning**, 2002, 61(2-4):83-98.
- [27] Mikhailov V N, Povalishnikova E S, Zudilina S V, et al. Long-term water level variations in the Eastern Sea of Azov and in the mouth reach of the Don River [J]. **Water Resources**, 2001, 128(6):587-595.
- [28] Abam T K S. Impact of dams on the hydrology of the Niger Delta [J]. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 1999, 57(3):239-251.
- [29] Ly C K. The role of the Akosombo dam on the Volta River in causing coastal erosion in central and eastern Ghana [J]. **Marine Geology**, 1986, 37:323-332.
- [30] Barousseau J P, Ba M, Descamps C, et al. Morphological and sedimentological changes in the Senegal River estuary after the construction of the Diama dam [J]. **Journal of African Earth Sciences**, 1998, 26(2):317-326.
- [31] Jay D A, Simenstad C A. Downstream effects of water withdrawal in a small, high-gradient basin: erosion and deposition on the Skokomish River Delta [J]. **Estuaries**, 1996, 19(3):501-517.
- [32] Feng Jin-liang, Zhang Wen. The evolution of the modern Luanhe River Delta, north China [J]. **Geomorphology**, 1998, 25:269-278.
- [33] 钱春林. 引滦工程对滦河三角洲的影响 [J]. **地理学报**, 1994, 49(2):158-166.
- [34] 龚文平, 王宝灿. 南渡江三角洲北岸的演变及其机制分析 [J]. **海洋学报**, 1998, 20(3):140-148.
- [35] Seaweb. Dams: their impacts on coastal environments [EB/OL]. <http://www.seaweb.org/background/book/dams.html>, 2007-05-01.
- [36] New Zealand Coastal Society. NZCS Annual Conference 2004 [EB/OL]. <http://www.coastalsociety.org.nz/conference2004.htm>, 2007-05-01.
- [37] Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone. LOICZ Activities [EB/OL]. http://www.loicz.org/loicz_nl/6cfc735ad960dcbcfdd34acaf1981256.php, 2007-05-01.
- [38] 尹延鸿, 刘宪启. 影响黄河三角洲海岸带冲淤速率的因素 [J]. **海洋地质动态**, 2000, 16(4):1-4.
- [39] 田家怡, 王明, 窦洪云, 等. 黄河断流对三角洲生态环境的影响与缓解对策 [J]. **生态学杂志**, 1997, 16(3):39-44.
- [40] 叶青超. 黄河断流对三角洲生态环境的恶性影响 [J]. **地理学报**, 1998, 53(5):385-392.
- [41] Stathis C S. Subsidence of the Thesaloniki (northern Greece) coastal plain, 1960-1999 [J]. **Engineering Geology**, 2001, 61:243-256.
- [42] Carminati E, Martinelli G. Subsidence rates in the Po Plain, northern Italy: the relative impact of natural and anthropogenic causation [J]. **Engineering Geology**, 2002, 66:241-255.
- [43] Edward P. Ecology and conservation biology of the Colorado River Delta, Mexico [J]. **Journal of Arid Environments**, 2001, 49:5-15.
- [44] Zamora-Arroyo F. Regeneration of native trees in response to flood releases from the United States into the delta of the Colorado River, Mexico [J]. **Journal of Arid Environments**, 2001, 49:49-64.
- [45] Echezurya H, Cordova J, Gonzalez M, et al. Assessment of environmental changes in the Orinoco River Delta [J]. **Reg Environ Change**, 2002, 3:20-35.
- [46] 王开荣. 黄河调水调沙对河口及其三角洲的影响和评价 [J]. **泥沙研究**, 2005, 6:29-33.
- [47] 宫振卫, 李剑桥. 黄河第四次调水沙 山东黄河口增湿地 2 万亩 [EB/OL]. http://www2.sdnews.com.cn/news/shizheng/2005-9/24_65474.html, 2007-05-01.
- [48] Millian J D, Meade R H. World-wide delivery of river sediment to the oceans [J]. **Journal of Geology**, 1983, 91:1-21.
- [49] 许炯心. 流域降水 and 人类活动对黄河入海泥沙通量的影响 [J]. **海洋学报**, 2003, 25(5):125-135.

(本文编辑:刘珊珊)