辽河三角洲湿地表层沉积物的风化特征及其对生物作用的指示意义

李通通[1,2,3)],叶思源[2,3)],韩宗珠[1)],袁红明[2,3)],裴理鑫[2,3,4)]

1)中国海洋大学海洋地球科学学院,山东青岛,266100;

2)中国地质调查局滨海湿地生物地质重点实验室,山东青岛,266071;

3)青岛海洋地质研究所,山东青岛,266071; 4)中国地质大学(武汉)地球科学学院,武汉,430074

内容提要:通过对辽河三角洲273个上三角洲平原湿地表层沉积物及100个浅海湿地表层沉积物的粒度和常量元素的系统测试,且对其中的128个表层沉积物样进行了球囊霉素蛋白(GRSP)的提取与分析,揭示了研究区GRSP、粒度、常量元素分布和风化特征及其控制机制,研究表明:上三角洲平原湿地表层沉积物以砂质粉砂和粉砂为主,而浅海湿地表层沉积物由于受潮汐及波浪的淘洗作用影响,颗粒较粗以粉砂质砂和砂质粉砂为主;研究区常量元素以SiO_2和Al_2O_3含量最高,其它元素平均含量均小于5%,且除了CaO外,其它常量元素与沉积物粒度呈显著相关($p<0.01$);值得注意的是,本研究发现有植被覆盖的上三角洲平原湿地地区的风化指数(*CIA*=58.50)显著地高于浅海湿地沉积物的风化指数(*CIA*=50.17,$p<0.05$)以及近基岩山区的风化指数(*CIA*=52,$p<0.05$),Na/K值与*CIA*指数分析表明该区从近基岩山区、浅海湿地至有植被覆盖的上三角洲平原湿地依次呈未受化学风化、初等化学风化和中等化学风化过渡特征,且*CIA*值与GRSP含量呈显著相关(r=0.47,$p<0.01$),由此揭示了生物作用在地质体风化过程的重要意义。

关键词:球囊霉素蛋白;常量元素;化学风化;辽河三角洲

碎屑物质由矿物组成,不同的矿物其元素的组分和结构是不同的,所以具有不同的抗风化强度,这样沉积物粒度和其元素地球化学特征以及风化特征应该存在着相关关系(王兆夺等,2015)。亦即是沉积物中的化学成分和矿物成分特征能够揭示其相关成分的地球化学行为(Nesbitt et al., 1996)。通过对沉积物中相关成分的化学风化特征进行研究,不仅有助于研究该地区的化学风化程度和风化趋势,而且可以利用沉积物的矿物成分和化学成分确定物源(李学杰等,2008;操应长等,2011;付玲等,2013;曹立成等,2013)、评价古气候环境(吴艳宏等,2004;乔培军等,2006;赵小明等,2011)、重建沉积环境演变(余少华等,2015;顾效源等,2016)以及为区域构造分析(和政军等,2005;刘建峰等,2014)提供依据。然而,纵观目前发表的相关文献,影响化学风化作用的因素主要有母岩的破碎程度、搬运途径、气候条件、地形地貌等(Nesbitt, 1980, 1982;李徐生等,2007),但辽河三角洲地区生物作用对沉积物风化程度的影响鲜有报道。

当前诸多研究表明,生物作用可以加速或促进化学风化作用的进程:植物、菌类、藻类及其他微生物对岩石的破坏作用应该十分显著,它们不仅直接对母岩进行机械破坏,化学分解,而且本身分泌出的物质,可促进岩矿化学分解或被植物吸取某些元素变成有机化合物,同时改变其周围基质(沉积物)的化学成分,从而加剧化学风化(Houben et al., 2012)。丛枝菌根真菌(AMF)是一类可以和大多数维管植物根系形成共生关系的土壤真菌(Wang B et al., 2006; Smith et al., 2008),AMF死亡或菌根裂解时可向土壤释放球囊霉素,通常以GRSP对该真菌蛋白进行定量。球囊霉素作为一种稳定的化合物,在自然界中以胶状的形式存在,同时它具有难降

注:本文为科技部中美政府间科技创新重点专项(编号:2016YFE0109600),大地调项目(编号:DD20189503,DD20160144, GZH201200503和1212010611402),国土资源部公益性行业基金项目(编号: 201111023),国家自然科学基金青年基金资助项目(编号:41240022, 40872167和41406082)的成果。

收稿日期:2018-06-28;改回日期:2018-09-21;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.01.004

作者简介:李通通,女,1992年生,硕士研究生,地质学专业。Email:lttfcs@163.com。通讯作者: 叶思源,女,1963年生,研究员,主要从事海洋地质、地球化学研究, Email:siyuanye@hotmail.com。

解,不溶于水的特性,因此 GRSP 可作为自然环境中表征植物作用的替代指标。目前有大量的研究是有关丛枝菌根真菌对固碳的影响评价,但 GRSP 与地球表层风化作用的相关性研究很少得到野外实测数据的证实(Johansen et al., 1993; Wright and Upahyaya, 1996)。

辽河三角洲是我国重要的河口三角洲之一,自全新世以来,辽河三角洲的环境演变分别经历了湖沼期、海侵期和盐沼期,基本都处于温暖湿润的气候条件下(马宏伟,2015)。该区上三角洲平原分布有近基岩山区的荒地 1037 km^2,同时分布有大片的湿地,主要湿地类型包括芦苇湿地 786 km^2、水稻田湿地 2465 km^2、翅碱蓬湿地 36 km^2 及浅海湿地 4508 km^2,是研究生物作用对风化过程影响的天然实验室。本文根据研究区生态环境的不同,从上三角洲平原近基岩裸露区的荒地到有植被覆盖的湿地以及浅海湿地等不同生态环境单元,探讨辽河三角洲不同生态环境中表层沉积物的 GRSP 分布、粒度组成以及地球化学元素的空间分异,进而建立起它们之间的相关关系,探讨研究区的植被对化学风化以及风化趋势的影响,从而揭示生物作用在地质演化过程中的重要意义,为今后古环境和古生态研究提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　样品获取

研究区地理位置及采样站位见图 1。实验分析样品取自辽河三角洲平原上的表层土壤及近海表层沉积物,根据取样地点的不同,将辽河三角洲研究区分为上三角洲平原湿地(UDPW)、河流和浅海湿地(SSW)。于 2012 年,在辽河上三角洲平原湿地采集 223 个表层沉积物(0~5 cm),其中,在芦苇地有 41 个,稻田有 61 个,旱地有 26 个,水田有 16 个,潮滩有 4 个,其他的分布在村庄以及城市区。在大凌河、小凌河、辽河、大辽河、大清河各取 10 个河流沉积物样,在低潮线以下,离岸较近的浅海湿地采集 100 个表层样,样品均放入洁净的样品袋编号封存,并低温冷藏保存。

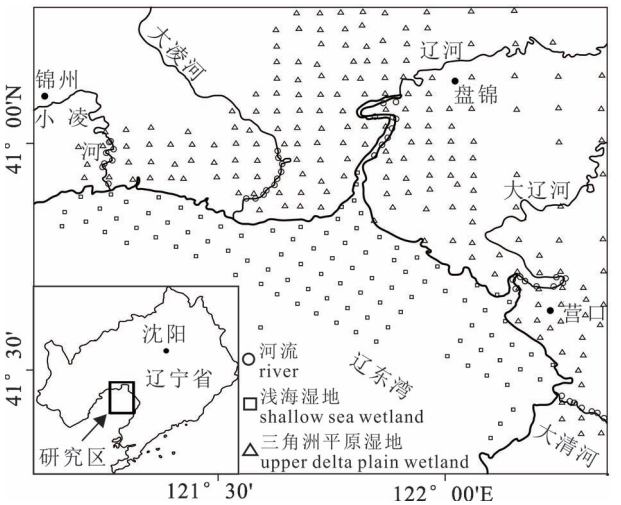


图 1 研究区位置及取样站位

Fig. 1 Location of the study area and sampling stations

1.2　测试方法

1.2.1　粒度分析

样品在测试之前按照要求进行前处理,粒度分析采用 Mastersizer 2000 型激光粒度分析仪进行粒度测试,该仪器的粒级分辨率为 0.01 Φ,测量范围为 0.02~2000.00 μm,重复测试误差<3%,可以满足实验要求。粒级划分标准使用尤登—温德华(Udden—Wentworth)等比制 Φ 粒级标准(Wentworth, 1922),沉积物的分类和定名采用 Folk 无砾沉积物分类法(Folk et al.,1957)。

1.2.2　常量元素分析

样品在国土资源部海洋地质实验检测中心利用荷兰帕纳科公司 Axios PW4400 X-射线荧光光谱仪进行常量元素测试,具体流程为:样品在 120°C 的烘箱内烘 8 h 后,称取已烘干的样品 4.0 g,放入模具内拨平,用低压聚乙烯镶边垫底,在 30 t 压力下压制成试样直径为 32 mm、镶边外径为 40 mm 的圆片,然后测定 SiO_2、Al_2O_3、CaO、Na_2O、K_2O、MgO 和 Fe_2O_3 等常量组分的质量分数,测试过程中利用海洋沉积物标样 GBW07315 对测试结果进行标定,测定值与标准值的差值<5%。

1.2.3　球囊霉素的提取、分析

本研究选取了表层沉积物 128 个样开展球囊霉素的提取、分析。采用考马斯亮蓝法来测试 BR-GRSP 所定义的球囊霉素含量(Bradford,1976)。提取方法为:取 1~2 g 冷冻干燥研磨之后的沉积物样品,加入 8 mL 的 pH 为 8.0、浓度为 100 mmol/L 的焦磷酸钠浸提液,震荡半分钟以充分混合,在 121°C 条件下高温灭菌 60 min,然后 4000 r/min 离心 20 min,移走上清液之后,再加入等量的焦磷钠浸提液,高温提取 60 min,在同样的条件下离心并移走上清液,重复操作,连续提取,直至上清液不再呈现球囊霉素典型的红棕色为止(Wright et al,, 1996)。

提取之后使用浓度为 0.1 mol/L 的盐酸滴定至

pH 为 2.1,使球囊霉素沉淀,放于冰上 60 min,4000 r/min 离心 20 min 并去除上清液。离心管底部的球囊霉素重新在 0.1 mol/L 氢氧化钠溶液中溶解,装入透析袋,使用去离子水透析 60 h(透析袋,DW = 8000-14000 Da,每 12 h 更换一次水)。透析之后以 4000 r/min 离心 20 min 以去除外来物质,之后部分上清液进行稀释至可检测的范围内。

提取纯化球囊霉素之后的定量测试方法为考马斯亮蓝法(Bradford),即测试 BR-GRSP 的含量。考马斯亮蓝 G-250 在游离状态下呈红色,最大光吸收在 465 nm;当它与蛋白质结合后变为青色,蛋白质—色素结合物在 595 nm 波长下有最大光吸收。其光吸收值与蛋白质含量成正比。具体操作为:吸取 0.05 mL 的标准溶液或样品加入 2 mL 的离心管,之后加入 1.5 mL 的考马斯亮蓝试剂(Coomassie Plus (Bradford) Assay Reagent,Thermo Scientific)混合均匀,在 5 min 之内测试其在 595 nm 下的吸光度。选用牛血清蛋白(BSA)作为标准物来计算样品中 BR-GRSP 的含量。

1.3 化学蚀变指数 *CIA* 计算

现在应用较广泛的指示化学风化程度的地球化学指标是化学蚀变指数 *CIA*,它是 Nesbitt 等(1982)提出的用来评价沉积物化学风化程度的指标,其表达式为:

$$CIA=\frac{100\cdot n(Al_2O_3)}{n(Al_2O_3)+n(Na_2O)+n(K_2O)+n(CaO^*)} \quad (1)$$

上式中 CaO^* 为硅酸盐矿物中 CaO,不包括碳酸盐组分(如碳酸盐和磷酸盐)中的 CaO。由于部分样品测试结果中包括了碳酸钙在内,因此 Nesbitt 建议用一定方法加以修正,以在碳酸钙含量未知情况下求取 *CIA* 计算中所需要的 CaO^*。本文采用了 McLennan(1993)所推荐的方法,进行了计算和校正,即:$n(CaO')=n(CaO)-10\times n(P_2O_5)/3$,若计算后的 $n(CaO')<n(Na_2O)$,则认为 $n(CaO^*)=n(CaO')$;若计算后的 $n(CaO')>n(Na_2O)$,则认为 $n(CaO^*)=n(Na_2O)$,本文遵循上述规则计算 $n(CaO^*)$ 值。

1.4 化学风化趋势分析

根据质量平衡原理、长石淋溶动力学实验和矿物稳定性的热力学计算,本研究采用 Nesbitt 和 Young 等(1984)提出的大陆化学风化趋势预测的两个三角模型,即 A—CN—K(Al_2O_3—(CaO^* + Na_2O)—K_2O 三角图)和 A—CNK—FM(Al_2O_3—(CaO^*+Na_2O+K_2O)—(FeO_T+MgO)三角图)。

2 结果

2.1 粒度特征及空间分布

上三角洲平原湿地(UDPW,其中含小部分荒地)、浅海湿地(SSW)和河道等不同生境类型表层沉积物的粒度分布情况见表 1、图 2。UDPW 粒度的平均值是 5.85±0.04 Φ,显著小于 SSW,粘土含量波动差异很小,这在粒度分级三元图中有很好的体现,即所有的分布点均位于右侧。因此,砂和粘土的含

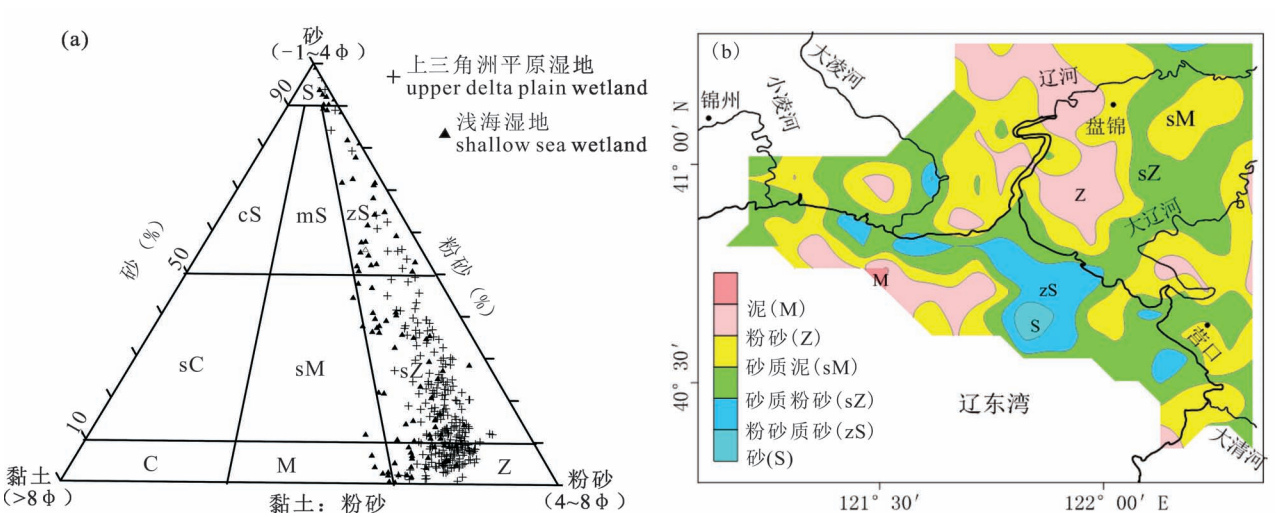


图 2 Folk 分类粒度三角图(a)沉积分类的空间分布图(b)

Fig. 2 The ternary map of grain size classification (a) and spatial distribution of sedimentary categories (b)

S—砂;zS—粉砂质砂;mS—泥质砂;cS—黏土质砂;sZ—砂质粉砂;sM—砂质泥;sC—砂质黏土;Z—粉砂;M—泥;C—黏土

S—Sand;zS—Silty sand;mS—Mudy sand;cS—Clay sand;sZ—Sandy silt;sM—Sandy mud;sC—Sandy clay;Z—Silt;M—Mud;C—Clay

表 1 表层沉积物常量元素含量统计(%)

Table 1 Contents of major elements in surface sediments(%)

沉积环境	化学成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	*CIA*	平均粒径(*Mz*)
上三角洲平原湿地	平均值	63.82	13.53	4.59	1.81	1.78	2.16	2.88	58.50	5.85±0.04Φ
	最大值	75.30	17.59	7.82	2.75	4.24	5.59	3.78	68.75	7.34
	最小值	53.93	10.04	1.93	0.61	0.76	1.22	2.43	36.61	3.44
	标准偏差	3.35	1.25	1.11	0.36	0.49	0.65	0.17	5.38	0.60
	变异系数	0.05	0.09	0.24	0.20	0.28	0.30	0.06	0.09	10.20±0.35Φ
上陆壳(UCC)	平均值	66.00	15.20	5.00	2.20	4.20	3.90	3.40	47.92	\
浅海湿地	平均值	62.13	12.56	4.06	1.67	1.82	2.98	3.07	50.17	5.22±0.14Φ
	最大值	66.99	12.51	5.36	1.70	1.87	3.06	3.05	66.72	7.37
	最小值	36.11	8.20	1.49	0.54	0.80	1.18	2.14	19.27	2.33
	标准偏差	8.47	1.37	1.38	0.49	0.32	0.63	0.19	8.93	1.36
	变异系数	0.14	0.11	0.34	0.29	0.18	0.21	0.06	0.18	26.13±1Φ

量比例使表层沉积物类型多样化。研究区 UDPW 表层沉积物共有 4 种不同沉积物类型,其类型结构分布如图 2a 所示,空间分布见图 2b。SSW 表层沉积物较 UDPW 分布更为分散,共有 6 种类型,粒径分化程度较高。UDPW 沉积物颗粒较细的粉砂主要沿着辽河、大辽河分布,砂质粉砂则多沿河道以及西侧的大(小)凌河分布。SSW 表层沉积物的空间分布可以分为三部分:西部细颗粒的粘土,中部粗颗粒的砂和粉砂质粘土,东部是中等颗粒大小的砂质粘土。

2.2 常量元素分布特征

辽河三角洲的表层沉积物常量元素含量(以氧化物表示)如表 1 所示。研究区内表层沉积物常量元素氧化物主要由 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、CaO、Na_2O、MgO 和 K_2O 组成,该 7 种组分约占沉积物总量的 91%以上。SiO_2和 Al_2O_3是陆源碎屑的主要成分,本研究区上三角洲平原区 SiO_2、Al_2O_3和 Fe_2O_3的平均含量之和可达 81.95%,浅海湿地 SiO_2和 Al_2O_3的平均含量分别为 62.23%和 12.14%,而其它元素平均含量均小于 5%,浅海湿地 Na_2O 的平均含量比上三角洲平原湿地高。另外,将研究区不同生境的常量元素平均含量与上陆壳(UCC)同名成分对比表明(表 1),除 Na、Ca 以外,SSW 更接近 UCC 含量。

各常量元素的空间分布特征如图 3 所示, SiO_2 含量整体上与砂质沉积物分布区相一致,高值区主要分布于辽河三角洲河口处,而在上三角洲平原湿地以及河漫滩处 SiO_2 含量偏低。Al_2O_3、Fe_2O_3 和 MgO 的含量空间分布趋势相近,与 SiO_2分布趋势大致相反,表现为浅海低平原高的趋势,Al_2O_3和Fe_2O_3局部富集比较明显。CaO 含量分布总体比较均匀,只在盘锦、营口和大、小凌河之间的泛滥平原有零星的高值分布。浅海湿地 Na_2O 和 K_2O 的含量比上三角洲平原区高。

2.3 GRSP 分布

本研究提取了 128 个辽河三角洲不同植物类型中表层沉积物的 GRSP,并采用考马斯亮蓝蛋白质显色方法(Bradford assay)测试其含量。结果显示 BR-GRSP(Bradford-reactive GRSP)的含量变化范围为 0.11‰~7.39‰,处在绝大多数温带土壤的范围(2‰~14‰)。根据 GRSP 含量空间分布图(图 4)可知,高浓度 BR-GRSP 主要分布在辽河和大辽河流域,其相应植被类型为淡水芦苇和水稻田。通过对主要植被类型中 BR-GRSP 含量的差异进行一维方差分析,其结果显示不同植被类型之间 BR-GRSP 的含量具有显著性差异($p=0.0018$),这是包括宿主植物类型、AMF 的定殖水平、土地利用类型和土壤物理地球化学性质等在内的多重因素共同作用的结果。BR-GRSP 含量最低的翅碱蓬主要影响因素是:植物 AMF 的相互作用、盐度胁迫、海水入侵所引起的 SO_4^{2-} 浓度升高促进了硫酸盐还原菌的活性,增强了 GRSP 的降解程度;而 BR-GRSP 含量次低的玉米地主要和耕地的翻地活动、化肥农药的使用、单一植被等因素有关。

2.4 化学风化程度特征

2.4.1 *CIA* 与 Na/K 摩尔比分布

根据冯连君等(2003)提出的风化程度规则,*CIA* 处于 40~50 为未受化学风化,50~65 为初等化学风化,65~85 为中等风化,85~100 为强烈风化。根据研究区常量元素数据计算得到的 *CIA* 值(表 1)显示,辽河上三角洲平原区 *CIA* 值在 36~69,平均值为 58.50,高于上陆壳的平均值 47.92,浅海湿地区 *CIA* 值在 19~58,平均值为 50.17(图 5)。研究区上

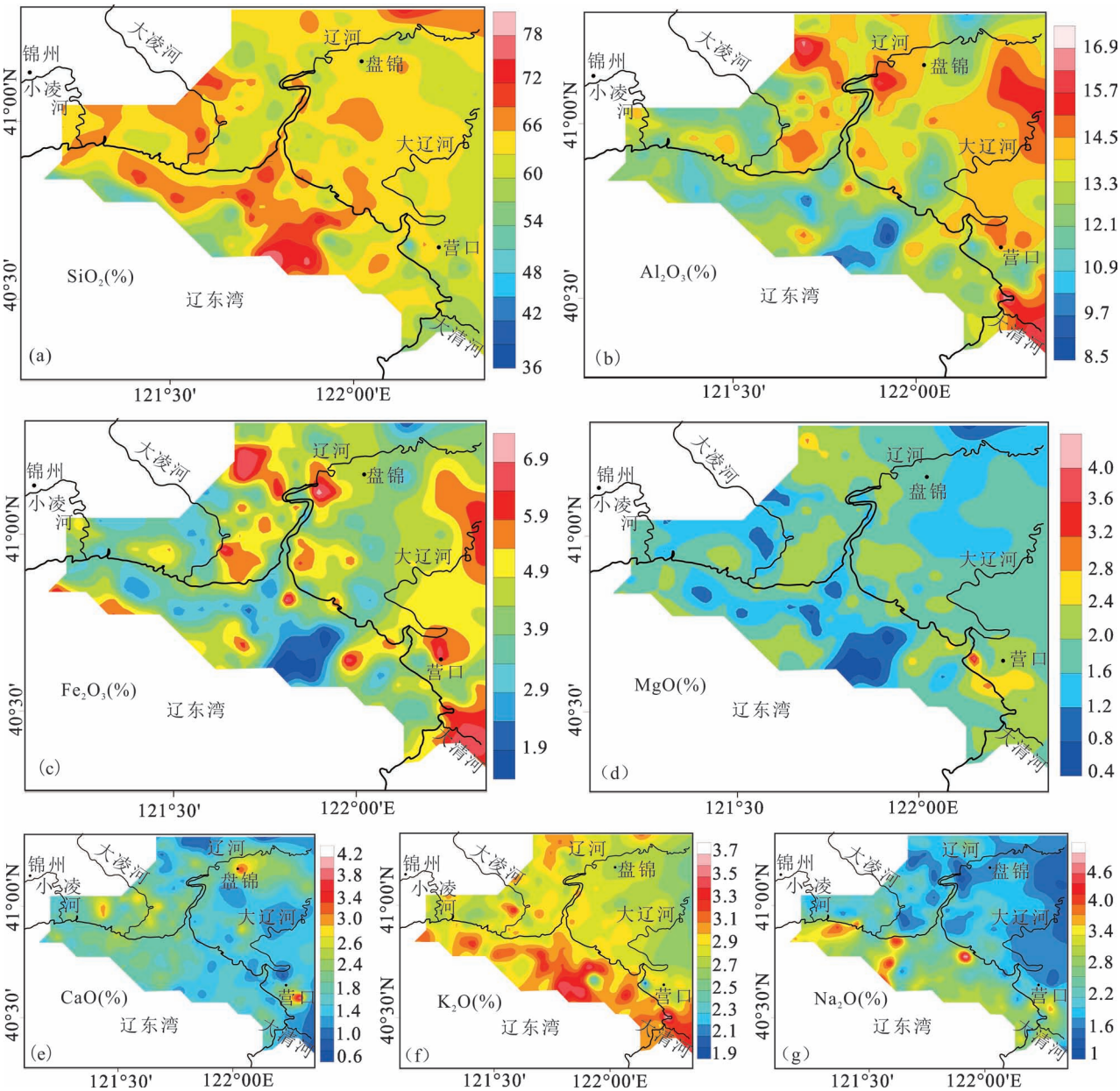


图 3 表层沉积物主要常量元素分布图

Fig. 3 Distribution of major elements in the surface sediments

三角洲平原风化指数分布跨度较大,化学风化强度较强,有的甚至达到了温暖湿润气候下中等的化学风化程度,高值区分布于有植被覆盖的湿地区,低值区主要分布于浅海湿地以及近物源的荒地区(图 6)。

2.4.2 化学风化演变特征

从整体来看,研究区沉积物的风化趋势线基本与 A—CN 边平行,且接近斜长石一边,上三角洲平原湿地表层土壤样横跨 Pl—Ks 线,比浅海湿地更接近顶点 A(图 7a)。三角图 A—CNK—FM(图 7b)显示上三角洲平原湿地和部分浅海湿地 Fe、Mg 存在一定程度的分异现象,样品数据点在长石(Fel)附近。

3 讨论

3.1 粒度特征及空间分布

粒度特征主要受控于物源、地形和水动力条件等,而沉积物的平均粒径(*Mz*)即可以直接反映沉积物颗粒粗细特征,又能表现研究区的水动力格局,衡量沉积介质的平均动能,进而反映沉积物的运移方

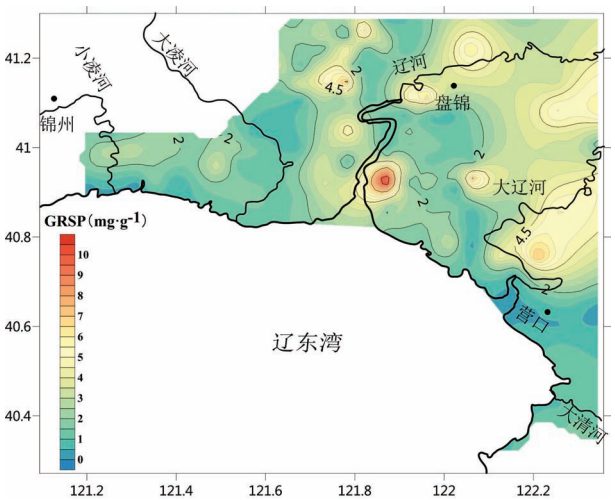


图 4 表层沉积物 GRSP 含量分布图

Fig. 4 Distribution of GRSP in the surface sediments

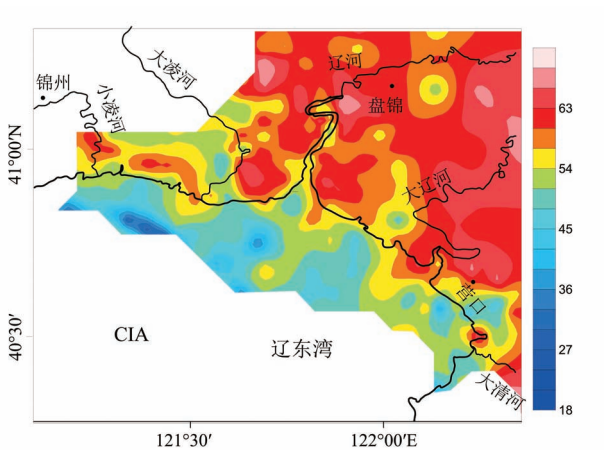


图 6 表层沉积物化学风化指数分布

Fig. 6 Distribution of chemical weathering indexes in surface sediments

向和沉积环境的生境变化(李国刚等,2012)。研究区近岸海域以及河口处表层沉积物的平均粒径相比于平原湿地较粗(~4 Φ),以砂、粉砂质砂为主(图 2b),河道附近以砂质粉砂为主,河漫滩周围沉积物以粉砂为主,平均粒径较细(4~8 Φ)。结合粒度三角图(图 2a)分析可知,浅海湿地表层沉积物的平均粒径明显比上三角洲平原湿地的粒径粗,砂和粉砂的比例变化也更大,表明分选性相对较差,本研究区的物源较为复杂,并且浅海湿地区分选程度的好坏还受控于研究区的潮汐与水动力条件,中部是辽河河口的位置,主要受潮流和海流影响,冲蚀作用强,水动力条件剧烈,因此,粗颗粒物质易于堆积,而细颗粒物质被重新搬运和再沉积。因此浅海湿地表层沉积物粒度空间分布是上述各因素综合作用的结果。

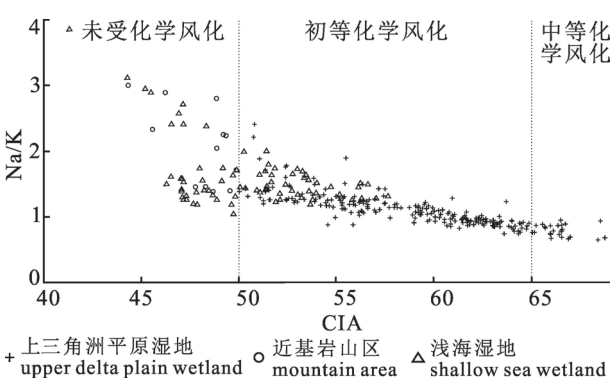


图 5 表层沉积物 *CIA*—Na/K 关系散点图

Fig. 5 Scatter diagram of *CIA* vs. Na/K molar ratio of surface sediments

3.2　常量元素分布及其粒度控制效应

从全球视野分析,将研究区不同生境的常量元素平均含量与上陆壳(UCC)同名成分对比表明,除 Na、Ca 以外,SSW 更接近 UCC 含量,表明浅海湿地沉积物来源广泛,并在充分混合后更接近上陆壳平均化学成分(表 1)。而 Na、Ca 元素的含量与上部陆壳含量的平均组成差异较大,相较于 UCC 表现出较明显的亏损特征,这也是大陆化学风化规律性的表现。

各常量元素的空间分布特征如图 3 所示,SiO_2 含量整体上与砂质沉积物空间分布相对一致,高值区主要分布于辽河三角洲河口处,而在上三角洲平原湿地以及河漫滩处 SiO_2 含量偏低,这是由于 SiO_2 是原生矿物,抗风化能力强,多存在粗颗粒中,而在河口处颗粒较粗,故 SiO_2 含量出现高值,这与前面讲述的粒度特征吻合。Al_2O_3、Fe_2O_3 和 MgO 的含量空间分布趋势相近,与 SiO_2 分布趋势大致相反,表现为浅海低平原高的趋势,局部富集比较明显,该 3 种元素溶解性较差,在长距离的搬运风化后,分解为细粒矿物组合,故细粒沉积物中较多。CaO 含量分布总体比较均匀,无明显规律,而浅海区的 Na_2O 和 K_2O 含量比上三角洲平原区高,是因为岩石经过风化钠易溶于溶液而被带入海洋,故海水显著富钠。

很多研究结果表明大部分化学物质明显受到粒度的控制(杜德文等,2003;官宝聪等,2010;李小妹等,2017),有些化学物质的含量(SiO_2、K_2O)与粒度呈负相关,而有些其含量(Al_2O_3、MgO 和 Fe_2O_3)与粒度呈正相关,还有少数化学物质(CaO、Na_2O)含

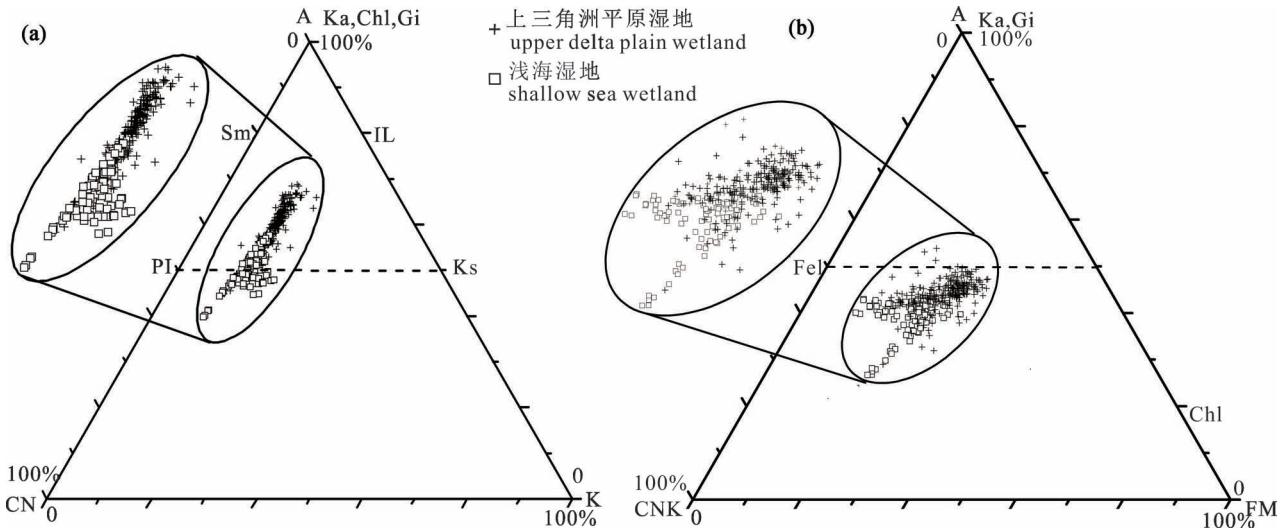


图 7 A—CN—K 化学风化趋势图(a) A—CNK—FM 化学风化趋势图(b)

Fig. 7 A—CN—K ternary diagram(a) A—CNK—FM ternary diagram(b)

A= Al_2O_3, CN= CaO^*+Na_2O, K= K_2O。主要元素均为物质的量比。Ka=高岭石,Chl=绿泥石,Gi=三水铝石,Sm=蒙脱石,IL=伊利石,Pl=斜长石,Ks=钾长石。Fel=长石,CNK= $CaO^*+Na_2O+K_2O$, FM= FeO_T+MgO

A= Al_2O_3, CN= CaO^*+Na_2O, K= K_2O, all the parameters in the triangle diagrams are molar ratios, Ka=kaolinite, Chl=chlorite, Gi=gibbsite, Sm=smectite, IL=illite, Pl=plagioclase, Ks=k—feldspar. Fel=feldspar, CNK= $CaO^*+Na_2O+K_2O$, FM= FeO_T+MgO

量的分布没有明显的粒度效应。

辽河三角洲表层沉积物常量元素含量与平均粒径的相关关系如表 2 所示,分析结果表明,平均粒径的大小受控于 SiO_2 的含量,随着矿物颗粒变粗,往往石英含量高,其矿物抗风化能力越强。相反,随着 Al_2O_3、Fe_2O_3、MgO 矿物含量的增加,沉积物颗粒相应减小,说明这些元素组成的主要矿物抗风化能力相对较差,容易破碎或者蚀变成黏土类矿物,而 CaO、Na_2O 和 K_2O 随粒度变化趋势不明显,基本不受粒度变化的影响,研究区表层沉积物元素含量符合前人关于"元素的粒度控制律"的结论。

在沉积物中化学物质含量上,浅海湿地沉积区的 SiO_2、Al_2O_3、MgO 和 Fe_2O_3 具与其他元素的组合特征较好的继承了上三角洲平原的组合特征,因此表明沉积物以陆源沉积为主。SiO_2 与 Al_2O_3 呈现负相关关系,这也反映了元素在向海离岸方向上的分布特征,两者也分别代表了沉积物中粗粒矿物和细粒级黏土矿物的特征组分(蒋富清等,2002),另一方面反应出其主要组分矿物石英和长石的比例的变化。沉积物中含量均以石英和长石为主,石英由 SiO_2 组成,长石为铝硅酸盐(刘广虎,2006),所以从 SiO_2 和 Al_2O_3 的负相关分析得出,石英与长石含量为此消彼长的关系。

表 2 主要常量元素与平均粒径的相关性

Table 2 Correlation coefficients of grain size and main elements

X	*Y*	方程	R^2	*P*
Mz	SiO_2	$y = -3.6766x + 83.842$	0.4927	2.2×10^{-16}
Mz	Al_2O_3	$y = 0.9019x + 8.1023$	0.4058	2.2×10^{-16}
Mz	Fe_2O_3	$y = 0.9637x - 0.9314$	0.6348	2.2×10^{-16}
Mz	MgO	$y = 0.3187x - 0.0048$	0.6155	2.2×10^{-16}
Mz	CaO	$y = -0.0257x + 1.9337$	0.0033	0.293
Mz	Na_2O	$y = -0.1742x + 3.3757$	0.0562	1.2×10^{-5}
Mz	K_2O	$y = -0.0754x + 3.3567$	0.1505	1.8×10^{-13}

3.3 化学风化及其与 GRSP 关系

碎屑物质由矿物组成,一方面,不同的矿物其元素的组成或结构是不同的,所以具有不同的抗风化强度;另一方面,同一矿物组成,分布于不同环境条件下,其沉积物粒度、元素以及化学风化指数会存在较大的区别。因此,研究辽河三角洲不同沉积环境、不同生境条件的沉积物岩性、元素地球化学及风化程度与风化趋势是了解地质过程与生物过程的重要手段。

CIA 指数能有效地指示长石风化成粘土矿物(如高岭石)的程度,不存在 Ca、Mg 等元素迁移后再淀积的情况下,能很好地反映沉积物形成时的化学风化强度(刘成禹等,2011;张威,2013)。Na/K (分

子摩尔比)是衡量样品中斜长石风化程度的重要指标(陈骏等,2001),同样可以用于表征堆积物的化学风化程度。斜长石中往往以钠长石居多,而钾长石、伊利石和云母富含 K,由于斜长石比钾长石风化得快,因而 Na/K 值与风化强度成反比,Na/K 比值变化与 *CIA* 参数呈现相反的变化特征(谭元隆等,2013)。

辽河上三角洲平原区 *CIA* 平均值为 58.50,高于上陆壳的平均值 47.92。其中,位于大凌河和小凌河的上游地区为近基岩源区,植被覆盖率低,岩石以物理风化为主,加之河流搬运距离短,因此,近物源沉积物处于基本未受化学风化的状态,从 *CIA* 分布图(图 5)可看出,近基岩山区地带,植被分布密度小,相应的风化程度弱;但上三角洲平原区,风化指数在球囊霉素蛋白(glomalin-related soil protein,GRSP)含量高的区域,化学风化强度较高,局部地区趋于中等风化程度,*CIA* 与 GRSP 分布在空间上的吻合,还可进一步由图 8 得到解释,*CIA* 与 GRSP 分布呈显著相关(图 7,$p=2.249\times10^{-8}$)。球囊霉素是丛枝菌根真菌分泌的一种胶状糖蛋白,诸多研究表明沉积物中该蛋白质含量与地表植被初级生产力呈显著正相关(Treseder and Turner, 2007),GRSP 含量的升高,表明该区域植被生长旺盛,进而植物根系发育产生的物理破碎配合植物生长对沉积物中 K、Na 等矿物元素的吸收将导致 *CIA* 的升高,增强化学风化。由此表明植物的生长可显著地加剧地球表面的风化程度,从而改观地球表面地形地貌,亦即是说植物是一种重要的地质营力。此外,GRSP 作为土壤团聚体形成的重要参与者,其可能会通过增加土壤团聚体的数量或通过增强发生在土壤颗粒之间的生物、化学作用进一步加速化学风化(朱永官,2014)。浅海湿地 *CIA* 平均值为 50.17,表明化学风化程度较低,总体处于未受风化与初等风化的过渡阶段(图 5),主要与生物作用及海洋动力条件有关,浅海区沉积物受潮汐潮流及波浪淘洗作用影响,粗颗粒易于沉积,而细颗粒被带走,而粘土矿物主要存在于细颗粒沉积物中,加之河流带来短源物质,故浅海区的风化比平原区弱(图 5)。

3.4　化学风化趋势分析

根据元素活动性顺序,Nesbitt 等(1980)将化学风化过程划分为初期脱 Na、Ca,中期去 K 和晚期脱 Si 等 3 个阶段。据图 7a 显示,从整体来看,研究区沉积物的风化趋势线基本与 A—CN 边平行,且接近斜长石一边,这说明研究区总体遭受的化学风化作用较弱,仅仅斜长石经历了较弱的脱 Ca 和 Na 的风化过程,而钾长石几乎没变化,仍处于化学风化的早期阶段,随着风化作用的不断进行,Ca 和 Na 逐渐递减,Al 元素发生富集,但还未进入脱 K 阶段,并且有逐渐向 Sm—IL 连线靠近的趋势,表明风化过程中风化程度的增强促使蒙脱石和伊利石等粘土矿物的形成,但未达到以高岭石和三水铝石为主的阶段。

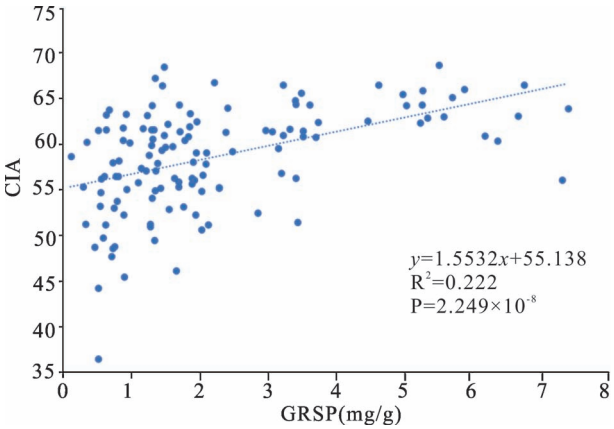


图 8 化学风化指数与 GRSP 关系

Fig. 8 Correlation coefficients of chemical weathering indexes and GRSP

A—CN—K 图解可以反映碱金属和 Al 的含量变化以推测经历的化学风化程度,但不能反映 Fe、Mg 等元素的迁移变化规律。所以,根据常量元素含量表作出了 A—CNK—FM 三角图,它可以指示浅色矿物和暗色矿物的风化趋势,并反映 Fe、Mg 等其它金属元素的风化特征(Nesbitt et al., 1982)。由图 7b 可见,Fe、Mg 分异程度不高,样品数据点在长石附近,由此可以推断样品的矿物含量以长石为主,并且样品点未超过图中虚线,说明总体上处于低等的化学风化程度。浅海湿地比上三角洲平原湿地更靠近 CNK 顶点,含有的 Ca、Na 和 K 等组成浅色矿物的元素较多,亦即是说石英、长石含量较多,说明仍处于以长石风化为主的早期阶段;而上三角洲平原湿地更靠近 FM 顶点,暗色矿物(绿泥石、角闪石、辉石和黑云母等)含量相对较多,说明风化产物中绿泥石等高等风化作用矿物含量增多,化学风化作用达到较强的阶段,可能是由于元素较难发生异地迁移而在原地富集造成的。

4　结论

(1)辽河三角洲的沉积物类型以砂质粉砂(sZ)和粉砂(Z)为主,分别占沉积物总量的 47.29% 和

35.90%。上三角洲平原湿地表层沉积物的平均粒径(*Mz*)为 5.85±0.04 Φ,而浅海湿地的平均粒径(*Mz*)为 5.22±0.14 Φ,颗粒更粗,主要影响因素是浅海区的潮流及波浪淘洗作用。

(2)浅海湿地的沉积物中 CaO、Na_2O 和 K_2O 的含量比平原区的高。

(3)表层沉积物不同元素与粒度之间存在不同的粒度效应,平均粒径与 SiO_2 含量呈负相关,与 Al_2O_3、Fe_2O_3、MgO 含量呈正相关,与 Na_2O、CaO 和 K_2O 没有明显的相关性。

(4)辽河上三角洲平原区 *CIA* 值 37~69,平均值为 58.45,高于上陆壳的平均值 47.92,Ca、Na 和 K 元素均有亏损,且 *CIA* 值与 GRSP 值呈显著的正相关关系,表明植物对表层沉积物风化作用产生了显著影响;而浅海湿地区 *CIA* 值在 19~58,平均值为 50.31,浅海湿地 Ca、Na 淋失严重,含量较少,而 K 基本无亏损,化学风化程度较低。浅海湿地沉积物的风化程度易受潮汐潮流的冲蚀与波浪淘洗作用,在水动力作用剧烈的环境下,粗颗粒沉积物更容易沉积,因此浅海区沉积物中粘土矿物少,表现为较弱的风化作用。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

操应长, 宋玲, 王健, 李俊良, 刘明全, 方勇. 2011. 重矿物资料在沉积物物源分析中的应用——以涠西南凹陷古近系流三段下亚段为例. 沉积学报, 29(5): 835~841.

曹立成, 姜涛, 王振峰, 张道军, 孙辉. 2013. 琼东南盆地新近系重矿物分布特征及其物源指示意义. 中南大学学报(自然科学版), 44(5): 1971~1981.

陈骏, 安芷生, 刘连文, 季峻峰, 杨杰东, 陈旸. 2001. 最近 2.5Ma 以来黄土高原风尘化学组成的变化与亚洲内陆的化学风化. 中国科学(D 辑: 地球科学), 31(2): 136~145.

杜德文, 石学法, 孟宪伟, 程振波, 陈志华, 熊应乾. 2003. 黄海沉积物地球化学的粒度效应. 海洋科学进展, (1): 78~82.

付玲, 关平, 赵为永, 王牧, 张英, 卢静文. 2013. 柴达木盆地古近系路乐河组重矿物特征与物源分析. 岩石学报, 29(8): 2867~2875.

方习生, 石学法, 王昆山, 程振波, 王湘芹. 2006. 琉球群岛以东海域表层沉积物元素地球化学特征. 海洋科学进展, 24(1): 9~16.

冯连君, 储雪蕾, 张启锐, 张同钢. 2003. 化学蚀变指数(*CIA*)及其在新元古代碎屑岩中的应用. 地学前缘, 10(4): 539~544.

官宝聪, 雷怀彦, 林炳煌, 柳浩然, 史跃中, 林建宁. 2010. 泉州湾表层沉积物元素特征及其地球化学意义. 台湾海峡, 29(1): 58~65.

顾效源, 鲁青原, 叶思源, 赵广明, 丁喜桂, 袁红明, 杨士雄, 何磊, 王锦. 2016. 黄河三角洲进积与滨海湿地地质环境演替模式. 地质论评, 62(3): 682~692.

和政军, 牛宝贵, 任纪舜. 2005. 陕南山阳地区刘岭群砂岩岩石地球化学特征及其构造背景分析. 地质科学, 40(4): 594~607.

蒋富清, 李安春. 2002. 冲绳海槽南部表层沉积物地球化学特征及其物源和环境指示意义. 沉积学报, 20(4): 680~686.

李学杰, 汪品先, 廖志良, 陈芳, 霍振海. 2008. 南海西部表层沉积物碎屑矿物分布特征及其物源. 中国地质, 35(1): 123~130.

李徐生, 韩志勇, 杨守业, 陈英勇, 王永波, 杨达源. 2007. 镇江下蜀土剖面的化学风化强度与元素迁移特征. 地理学报, 62(11): 1174~1184.

刘广虎, 李军, 陈道华, 刘坚. 2006. 台西南海域表层沉积物元素地球化学特征及其物源指示意义. 海洋地质与第四纪地质, 26(5): 61~68.

李国刚, 胡邦琦, 李军, 布如源, 杨敏, 窦衍光. 2012. 山东半岛沿岸海域表层沉积物的常量元素及其地质意义. 海洋地质与第四纪地质, 32(3): 45~54.

李小妹, 严平, 钱瑶, 吴伟. 2017. 西拉木伦河流域地表沉积物粒度、化学元素分布特征. 干旱区研究, 34(1): 191~199.

刘建峰, 李锦轶, 迟效国, 曲军峰, 胡兆初, 郭春丽. 2014. 内蒙古东南部早三叠世花岗岩带岩石地球化学特征及其构造环境. 地质学报, 88(9): 1677~1690.

刘成禹, 何满潮. 2011. 对岩石风化程度敏感的化学风化指数研究. 地球与环境, 39(3): 349~354.

马宏伟. 2015. 辽河三角洲全新世以来的环境演变. 地质论评, 61(z1): 687~688.

乔培军, 邵磊, 杨守业. 2006. 南海西南部晚更新世以来元素地球化学特征的古环境意义. 海洋地质与第四纪地质, 26(4): 59~65.

谭元隆, 乔彦松, 赵志中, 王燕. 2013. 成都平原风尘堆积的化学风化特征及其古气候意义. 地质力学学报, 19(1): 26~34.

吴艳宏, 李世杰. 2004. 湖泊沉积物色度在短尺度古气候研究中的应用. 地球科学进展, 19(5): 789~792.

王兆夺, 于东生. 2015. 泉州湾表层沉积物粒度与元素地球化学特征分析. 应用海洋学学报, 34(4): 568~579.

余少华, 周洋, 谢叶彩. 2015. 珠江三角洲 ZK316 钻孔孢粉组合及沉积环境意义. 地质论评, 61(z1): 766~767.

朱永官, 段桂兰, 陈保冬, 彭新华, 陈正, 孙国新. 2014. 土壤—微生物—植物系统中矿物风化与元素循环. 中国科学: 地球科学, 44(6): 1107~1116.

赵小明, 刘圣德, 张权绪, 吴健辉. 曾波夫, 廖宗明, 杨刚忠, 李方会. 2011. 鄂西长阳南华系地球化学特征的气候指示意义及地层对比. 地质学报, 85(4): 576~585.

张威, 董应巍, 于洋, 刘蓓蓓, 李永化, 李媛媛, 王美霞. 2013. 辽南黄土化学风化特点及其环境意义. 海洋地质与第四纪地质, 33(5): 163~171.

Bradford M M, 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein—dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248~254.

Cao Yingchang, Song Ling, Wang Jian, Li Junliang, Liu Mingquan, Fang Yong. 2011&. Application of heavy mineral data in the analysis of sediment source: a case study in the Paleogene lower submember of the third member of the Liushagang Formation, Weixinan depression. Acta Sedimentologica Sinica, 29(5): 835~841.

Cao Licheng, Jiang Tao, Wang Zhenfeng, Zhang Daojun, Zhang Hui. 2013&. Characteristics of heavy minerals and their implications for Neogene provenances evolution in Qiongdongnan Basin. Journal of Central South University (Science and Technology), 44(5): 1971~1981.

Chen Jun, An Zhisheng, Liu Wenlian, Ji Junfeng, Yang Jiedong, Chen Yang. 2001#. Chemical composition of eolian dust in the Loess plateau and chemical weathering in the asian inland since 2.5 Ma. Science in China (Series D), 31(2): 136~145.

Du Dewen, Shi Xuefa, Meng Xianwei, Cheng Zhenbo, Chenzhihua, Xiong Yingqian. 2003&. Geochemical granularity effect of sediment in the Yellow Sea. Advances in Marine Science, 21(1): 78~82.

Folk R L, Ward W C. 1957. Brazos river bar: A study in the signification of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27: 3~27.

Fu Ling, Guan Ping, Zhao Weiyong, Wang Mu, Zhang Ying, Lu Jingwen. 2013&. Heavy mineral feature and provenance analysis of Paleogene Lulehe Formation in Qaidam Basi. Acta Petrologica Sinica, 29(8): 2867~2875.

Fang Xisheng, Shi Xuefa, Wang Kunshan, Cheng Zhenbo, Wang Xiangqin. 2006&. Geochemical characteristics of surficial sediment elements from the sea area east of the Ryukyu Islands. Advances in Marine Science, 24(1): 9~16.

Feng Lianjun, Chu Xuelei, Zhang Qirui, Zhang Tenggang. 2003&. *CIA* (chemical index of alteration) and its applications in the Neoproterozoic Clastic Rocks. Earth Science Forntiers, 10(4): 539~544.

Guan Baocong, Lei Huaiyan, Lin Binghuang, LiuHaoran, Shi Yuezhong, Lin Jiannin. 2010&. Elemental characteristics and geochemical significance of surface sediments in Quanzhou Bay. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 29(1): 58~65.

Gu Xiaoyuan, Lu Qingyuan, Ye Siyuan, Zhao Guangming, Ding Xigui, Yuan Hongming, Yang Shixiong, He Lei, Wang Jin. 2016&. Deltaic progradation and geo-envrionmental succesion of coastal wetlands in the Yellow River delta. Geological Review, 62(3): 682~692

He Zhengjun, Niu Baogui, Ren Jishun. 2005&. Tectonic discrminations of sandstones geochemistry from the middle—late Devonian Liuling Group in Shanyang area, Southern Shanxi. Chinese Journal of Geology, 40(4): 594~607.

Houben D, Sonnet P. 2012. Zinc mineral weathering as affected by plant roots. Appl. Geochem., 27: 1587~1592.

Johansen A, Jakobsen I, Jensen E S. 1993. Hyphal transport by a vesicular—arbuscular mycorrhizal fungus of N applied to the soil as ammonium or nitrate. Biol Fert Soils, 16: 66~70.

Jiang Fuqing, Li Anchun. 2002&. Geochemical characteristics and their implications to provenance and environment of surface sediments from the south Okinawa Trough. Acta Sedimentologica Sinica, 20(4): 680~686.

Li Xuejie, Wang Pinxian, Liao Zhiliang, Chen Fang, Huo Zhenhai. 2008&. Distribution of clastic minerals of surface sediments in the western China Sea and their provenance. Geology in China, 35(1): 123~130.

Li Xusheng, Han Zhiyong, Yang Shouye, Chen Yingyong, Wang Yongbo, Yang Dayuan. 2007&. Chemical weatheing intensity and element migration features of the Xiashu Loess profile in Zhenjiang. Acta Geographica Sinica, 62(11): 1174~1184.

Liu Guanghu, Li Jun, Chen Daohua, Liu Jian. 2006&. Geochemistry of surface sediments in the Taixinan (Southwestern Taiwan) Sea area in the Northeastern South China Sea. Marine Geology and Quaternary Geology, 26(5): 61~68.

Li Guogang, Hu Bangqi, Li Jun, Bu Ruyuan, Yang Min, Dou Yanguang. 2012&. Geochemistry of major elements in the surface sediments of the offshore area of Shandong Peninsula and its geological implications. Marine Geology and Quaternary Geology, 32(3): 45~54.

Li Xiaomei, Yan Ping, Qian Yao, WuWei. 2017&. Spatial distribution of grain size and chemical elements in surface sediments in the Xar Moron river basin. Arid Zone Research, 34(1): 191~199.

Liu Jianfeng, Li Jinyi, Chi Xiaoguo, Qu Junfeng, Hu Zhaochu, Guo Chunli. 2014&. Petrological and geochemical characteristics of the early Triassic granite belt in Southeastern Inner Mongolia and its tectonic setting. Acta Geologica Sinica, 88(9): 1677~1690.

Liu chengyu, He Manchao. 2011&. Research on the sensitive chemical weathering indices to rock weathering. Earth and Environment, 39(3): 349~354.

Mclennan S M. 1993. Weathering and global denudation. Journal of Geology, 101(2): 295~303.

Ma Hongwei. 2015#. Environmental evolution since the Holocene in Liaohe delta, Geological Review, 61(z1): 687~688

Nesbitt H W, Markovics G, Price R C. 1980. Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 44(11):1659~1666.

Nesbitt H W, Young G M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature, 299(5885): 715~717.

Nesbitt H W, Young G M. 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 48(7): 1523~1534.

Nesbitt H W, Young G M, Mclennan S M, Keays R R. 1996. Effects of chemical weathering and sorting on the petrogenesis of siliciclastic sediments, with implications for provenance studies. Journal of Geology, 1996, 104(5): 525~542.

Qiao Peijun, Shao Lei, Yang Shouye. 2006&. The paleoenvironmental significance of the character of the element geochemistry in the southwestern South China Sea since Late Pleistocene. Marine Geology and Quaternary Geology, 26(4): 59~65.

Smith S E, Read D J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed. : Academic press.

Tan Yuanlong, Qiao Yansong, Zhao Zhizhong, Wang Yan. 2013&. Chemical weathering characteristics and paleoclimatic significance of the eolian deposits in Chengdu Plain. Journal of Geomechanics, 19(1): 26~34.

Treseder K K, Turner K M. 2007. Glomalin in ecosystems. Soil society of America Journal, 71(4): 1257~1266.

Wang B, Qiu Y L. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. Mycorrhiza, 16(5): 299~363.

Wright S F, Upadhyaya A. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Sci., 161: 575~586.

Wentworth C K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 0(5): 377~392.

Wu Yanhong, Li Shijie. 2004&. Significance of Lake sediment Color for short time scale climate Variation. Advances in Marine Science, 19(5): 789~792.

Wang Zhaoduo, Yu Dongsheng. 2015&. Analysis on the grain size and the geochemical characteristics of surface sediments in Quanzhou Bay. Journal of Applied Oceanography, 34(4): 568~579.

Yu Shaohua, Zhou Yang, Xie Yecai. 2015#. Spore—pollen assemblage and its significance of sedimentary environment from ZK316 borehole

in the Pearl River Delta. Geological Review. 61(z1): 766~767.
Zhu Xiaomin, Duan Guilan, Chen Baodong, Peng Xinhua, Chen Zheng, Sun Guoxin. 2014#. Mineral weathering in soil microorganism plant system element cycle. Science China, 44(06): 1107~1116.
Zhao Xiaoming, Liu Shengde, Zhang Quanxu, Wu Jianhui, Zeng Bofu, Liao Zongming, Yang Gangzhong, Li Fanghui. 2011&. Geochemical characters of the Nanhua System in Changyang, Western Hubei Province and its implication for climate and sequence correlation. Acta Geologica Sinica, 85(4): 576~585.
Zhang Wei, Dong Yingwei, Yu Yang, Liu Beibei, Li Yonghua, Li Yuanyuan, Wang Meixia. 2013&. Chemical weathering of the loess in the South of Liaoning province and its implications for environmental change. Marine Geology and Quaternary Geology, 33(5): 163~171.

Weathering Characteristics of the Surface Sediments and Their Indications for Biological Process in the Liaohe Delta Wetlands

LI Tongtong [1,2,3], YE Siyuan[2,3], HAN Zongzhu[1], YUAN Hongming[2,3], PEI Lixin[2,3,4]

1) *College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, Shandong*, 266100;
2) *Key Laboratory of Coastal Wetland Biogeosciences, China Geologic Survey, Qingdao, Shandong*, 266071;
3) *Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong*, 266071;
4) *School of Earth Sciences, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan*, 430074

Objectives: In order to reveal the relationship among the particle size, major elements, glomalin-related soil protein (GRSP) distributions, and to explore weathering characteristics and the control mechanism in Liaohe river Delta.

Methods: 373 surface sediments across the upper delta plain wetlands (UDPW) and shallow-sea wetlands (SSW) were collected from study area. The particle size were tested by Master sizer 2000 laser particle size analyzer, and major elements of surface sediments were tested by Axios PW4400 X- ray fluorescence spectrometer, GRSP analyses used Coomassie plus (Bradford) assay method.

Results: The averaged mean grain size (*Mz*) of sediment in the SSW was 5.22 ± 0.14 Φ, significantly larger than that in the UDPW. Six types were identified for the SSW and river channel, less concentrated than UDPW, where presenting mainly sandy silt and silt, and indicating less sorting degree. The contents of SiO_2 and Al_2O_3 were the highest in the study area, and the average contents of other elements were generally less than 5%. With the exception of CaO, other constant elements were significant correlated with sediment particle size ($p<0.01$); Notably, the mean value of chemical index of alteration (*CIA* = 58.50) of the vegetated UDPW were significantly higher than that of the SSW (*CIA* = 50.17, $p<0.05$) and the flooding area, where is near bedrock mountains (*CIA* = 52.00, $p<0.05$). Moreover, the *CIA* values were significant correlated with GRSP content ($r=0.47$, $p<0.01$).

Conclusions: The surface sediments of the UDPW are mainly sand silt and silt, while, the surface sediments of the SSW are mainly silty sand and sandy silt due to the influence of tide and wave actions. The contents of CaO、Na_2O and K_2O in the UDPW were higher than SSW. There were the high correlations between chemical element and grain size. The Na/K ratio and *CIA* index analyses showed that the sediments in the LHD wetlands were experienced three weathering stages, namely, unweathering, primary and moderate weathering. Moreover, the correlations between *CIA* values and GRSP content revealed that the important significant role of biological processes in the mineral weathering, and presumably the AMF have made an significant contribution to the nutrient retains in this region.

Keywords: glomalin-related soil protein; major elements; weathering; Liaohe delta

Acknowledgements: This study was jointly funded by the National Key R&D Program of China (2016YFE0109600), Ministry of Land and Resources program: "Special foundation for scientific research on public causes" (Grant No. 201111023), National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41240022, 40872167 and 41406082), China Geological Survey (Grant Nos. 1212010611402, GZH201200503, DD20189503 and DD20160144)

First author: LI Tongtong, female, born in 1992, Ocean University of China. Email: lttfcs@163.com

Corresponding author: YE Siyuan, female, born in 1963, Qingdao Institute of Marine Geology. Email: siyuanye@hotmail.com

Manuscript received on: 2018-06-28; Accepted on: 2018-09-21; Edited by: LIU Zhiqiang

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.01.004

“第三届中国科学技术协会优秀科技论文”评选揭晓

为深入贯彻落实党的“十九大”精神,服务创新型国家建设,和习近平总书记关于“把论文写在祖国大地上”号召,引导更多高水平科研成果在我国科技期刊首发,提高我国科技期刊汇聚科学发现、引领学科发展、培育顶尖人才的能力,中国科协组织开展了第三届全国优秀科技论文遴选活动,2018年共有 95 篇论文入选。

中国现有 5000 多种科技期刊,中国科协将其划分为数理化与交叉学科集群、地球科学集群、预防与中医药集群、临床医学集群、农林集群、制造业与材料集群、电工、电子与信息技术集群、交通与基建集群、能源、化工与环境集群、生命科学与基础医学集群等 10 个集群,分别组织实施。地球科学集群的论文遴选工作由中国地质学会牵头,包含中国天文学会、中国测绘学会、中国地球物理学会、中国大气科学会(气象学)、中国地质学会、中国海洋学会、中国自然地理学会、中国古生物学会共 8 个学会,涉及地学刊物 230 余种。

中国地质学会组织所属《地质学报》(英文版)、《矿床地质》、《岩石矿物学杂志》、《岩矿测试》编辑部,抽调精干力量组成工作小组,组织地球科学集群中的兄弟学会广泛动员本会会员推荐候选论文 118 篇。最后经专家初评、终评、审定以及公示等程序,地球科学集群最终入选 10 篇论文。

我刊论文“ 任纪舜, 徐芹芹, 赵磊, 朱俊宾. 2015. 寻找消失的大陆. 地质论评, 61(5): 969~989”榜上有名。该文指出,大量的海洋地质、地球物理调查和海底钻探文献资料表明,现今大西洋、印度洋、太平洋的不同部位——海底高原、深海平原、海沟、转换断层以至大洋中脊都可以找到大陆残块或大陆壳的痕迹。值得注意的是,大洋盆地中已经发现的大陆残块,在全球磁异常图上,大多数位于南美洲、非洲、欧洲、南极洲、大洋洲的大陆磁异常带向相邻大洋盆地延伸部分,二者互相印证。这说明,具有大陆磁异常特征的这部分大洋盆地的基底具有大陆壳的性质,这是否意味着现代大洋的相当一部分深海盆地并不是以典型的大洋地壳,而是以大陆属性的地壳为基底的。然而,在世界地质图上,这些深海盆地的底多被以海底磁异常条带为基础的海底扩张模型解释为白垩纪的大洋地壳。这就不得不使我们对根据 Vine-Matthews 假说建立的海底扩张模型产生质疑。基于上述事实,我们认为在大地构造研究中,不仅要在各时代的造山带中寻找消失的大洋,而且要在各个时期的海洋中寻找消失的大陆,才能更准确地进行古构造-古地理再造,还原各地史时期大地构造的真实面貌。我们认为,大陆经裂谷作用转化为大洋,大洋经造山作用转化为大陆的过程中,必然存在着地球各层圈之间,特别是壳幔之间的物理、化学作用。因此,大地构造研究必须从全球整体出发,注意物质水平运动的同时,还要更加注意研究壳与幔、幔与核,以及壳、幔、核的不同层次之间能量的转换和物质转化过程,才能对大陆与大洋的形成和演化过程作出正确的判断。

入选的其他优秀与地质学有关论文有:

SONG Mingchun, DENG Jun, YI Pihou, YANG Liqiang, CUI Shuxue, XU Junxiang, ZHOU Mingling, HUANG Tailing, SONG Guozheng and SONG Yingxin. 2014. The Kiloton Class Jiaojia Gold Deposit in Eastern Shandong Province and Its Genesis. ACTA GEOLOGICA SINICA (English Edition), 88(3): 801~824.

郭旭升. 2014. 南方海相页岩气“二元富集”规律——四川盆地及周缘龙马溪组页岩气勘探实践认识. 地质学报, 88(7): 1209~1218.

罗艳, 赵里, 曾祥方, 高原. 2015. 芦山地震序列震源机制及其构造应力场空间变化. 中国科学: 地球科学, 45(4): 538~550.

张兴亮, 舒德干. 2014. 寒武纪大爆发的因果关系. 中国科学: 地球科学, 44(6): 1155~1170.

LIU Zhiqiang: The 3rd Issue “Excellent Scientific Papers” of *China Association for Science and Technology* Announced