

潘大东, 张良荟, 林永崇. 九龙江口潮滩表层沉积物有机质的分布、来源及沉积环境指示意义[J]. 海洋学报, 2023, 45(2): 85–97, doi:10.12284/hyxb2023025

Pan Dadong, Zhang Lianghui, Lin Yongchong. Temporal spatial distribution and source of organic matter in tidal flat surficial sediments and their implications for sedimentary environment identification in the Jiulong River Estuary[J]. Haiyang Xuebao, 2023, 45(2): 85–97, doi:10.12284/hyxb2023025

九龙江口潮滩表层沉积物有机质的分布、来源及沉积环境指示意义

潘大东¹, 张良荟¹, 林永崇¹

(1. 闽南师范大学 历史地理学院, 福建 漳州 363000)

摘要: 本研究旨在揭示九龙江口潮滩有机质含量及其来源的时空分异规律, 寻找有效识别潮滩沉积环境的有机碳指标, 以便更好地将有机碳应用于河口沉积微相识别和古环境研究。在九龙江口潮滩不同地貌单元, 于夏季和冬季采集 41 个表层沉积物, 进行粒度、总有机碳 (TOC)、总氮 (TN) 和稳定碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 测试。结果显示: 从高潮滩至低潮滩, 沉积物粒度逐渐变粗, TOC、TN 和 C/N 变小, $\delta^{13}\text{C}$ 值偏正。高潮滩有机质来源以陆源和红树林贡献为主, 中潮滩以海源和互花米草贡献为主, 低潮滩以海源贡献为主。九龙江口潮滩有机质的分布和来源受控于河口陆海相互作用的季节变化、潮滩沉积动力分异和潮滩植被分布。高潮滩与中-低潮滩之间, TOC 存在显著性差异, TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 存在极显著性差异, 因此参数组合 TOC、TN 和 $\delta^{13}\text{C}$ 可作为高潮滩与中-低潮滩的有效判别指标。

关键词: 沉积动力; 有机碳; 稳定碳同位素; 沉积微相识别; 九龙江河口潮滩

中图分类号: P736.21

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2023)02-0085-13

1 引言

潮滩是入海河口的重要地貌单元, 具有独特的水文、沉积和生物特征。受潮汐、径流及河口环流影响, 潮滩由海向陆潮汐作用强度变小、淹没时长变短^[1], 枯水期主要受海水影响, 洪水期径流影响增加^[2]。潮滩沉积动力在涨、落潮期间较强, 高潮憩流较弱, 沉积物由陆向海变粗、分选性变好、生物扰动变弱^[3]。潮间带位于平均大潮低潮线和平均大潮高潮线之间, 其沉积相在高潮滩以水平纹层为主, 沉积物主要为粉砂质泥, 含大量生物虫孔; 中潮滩粉砂和粉砂质泥互层, 具波状泥质粉砂; 低潮滩波纹交错层理, 主要沉积粗粉砂^[4]。潮间带的植被, 高潮滩主要为芦苇或红树林, 中潮滩多为互花米草和蔗草, 低潮滩为光滩^[5]。因

此潮滩接收陆源、海源和潮滩自生有机质。

在河口古环境研究中, 沉积相识别尤为重要, 但因地层中潮滩沉积构造和岩性与河口湾、前三角洲等细颗粒沉积相十分相似而难以识别^[6-7], 给古沉积环境判别带来困难。相似的沉积构造和岩性也妨碍潮滩沉积微相的识别, 这使全新世基底盐沼-潮滩沉积微相及地层方法重建全新世高精度海平面曲线的研究受到限制^[7-9]。因此, 潮滩微相识别的沉积学研究具有重要意义。要识别地层中的潮滩微相, 首先应寻找区分现代潮滩微相的代用指标。

沉积物的总有机碳 (TOC)/总氮 (TN)(C/N) 和 $\delta^{13}\text{C}$ 是指示不同来源有机碳积累的有效指标, 如海洋藻类、淡水藻类和陆源 C3/C4 植被^[10]。Lamb 等^[10] 指出, 早期成岩作用对有机质来源的判别影响较小, $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N

收稿日期: 2021-09-03; 修订日期: 2022-08-08。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41601012); 福建省中青年骨干教师教育项目(JAT190366); 福建省高校杰出青年科研人才培育计划。

作者简介: 潘大东(1983—), 男, 重庆市人, 博士, 从事河口三角洲沉积地貌与第四纪环境演变研究。E-mail: dadongdedou@163.com

的变化可以指示有机碳来源和埋藏条件的变化。近几十年来, $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N 已广泛应用于沿海地区和河口的表层和钻孔沉积物碳积累研究^[11-13]、有机质溯源^[14-15]、富营养化^[16]、全新世河口水文-沉积-动力过程^[17]、入海径流量和海平面波动^[10, 18-22] 以及区分沉积相^[23-24]。Jiang 等^[25] 研究发现湄公河三角洲表层沉积物有机地球化学组成能很好地反映潮汐、河口环流等动力过程。目前中国潮滩有机质来源研究主要集中在黄河口、长江口、苏北、象山港等地^[2, 26-30], 南方潮滩特别是有红树林分布的潮滩有机质研究少有报道。

周期性潮汐淹没形成的厌氧环境, 抑制了潮滩有机质的分解过程^[5], 在垂向上的碳埋藏速率是陆地生态系统的数十倍以上^[1], 因此潮滩是海岸带蓝碳的主要碳库^[31], 也是海岸带蓝碳、碳中和研究的重要内容^[1]。本研究在九龙江河口潮滩不同地貌部位采集表层沉积物, 进行粒度和有机碳测试, 利用潮滩动力、沉积和生物特征蕴含的有机碳潜在分异规律, 试图弄清亚热带中小山溪性强潮河口潮滩有机碳的时空分布格局, 寻找有效识别潮滩微相的有机碳指标, 本研究对河口地层沉积相识别、海岸带蓝碳、碳中和等有重要意义。

2 研究区概况

九龙江是南亚热带山溪性中小河流, 流域面积为 $1.47 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[32], 为福建省第二大河。九龙江流域为南亚热带海洋性湿润季风气候, 年均降水量为 1 400~1 800 mm, 集中在 4-9 月, 约占全年 75%, 夏秋季多台风^[33]。主要支流北溪和西溪年均径流量分别为 $8.27 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $3.70 \times 10^9 \text{ m}^3$, 年均含沙量分别为 0.206 kg/m^3 和 0.210 kg/m^3 ^[34]。九龙江口为非正规半日浅海潮的强潮河口, 潮流特征为往复流, 平均潮差为 3.99 m, 最大潮差为 6.42 m^[35]。受入海径流、潮流影响, 涨潮流偏河口北岸入侵, 落潮流和径流偏南岸入海, 此外, 以鸡屿为中心形成逆时针河口余流^[36]。南港为径流入海的主要通道(图 1a), 北港逐渐淤浅, 河口湾水下地形向海倾斜, 坡度约为 2%。在三角洲平原与河口湾的交汇地带发育淤泥质潮滩, 其中以浒茂洲东部潮滩面积最大, 约为 5.1 km^2 (图 1b), 为淤涨型潮滩^[37], 是福建省九龙江口红树林湿地保护区面积最大的湿地, 海拔约为 0~3 m^[38]。

3 样品与方法

3.1 样品来源和分区

浒茂洲东部潮滩的地势由陆向海倾斜, 各地貌部位受潮流作用强度和时间差异, 形成微地貌分异^[39-40]。

平均大潮高潮线与最高高潮线间为潮上带^[39], 在研究区已围垦, 以海堤与潮间带相隔。平均大潮低潮线与平均大潮高潮线间为潮间带, 潮间带分为高、中、低潮滩。高潮滩位于平均小潮高潮线与平均大潮高潮线间, 海水淹没时间最短, 在浒茂洲东部潮滩主要生长红树林(图 1b); 平均小潮低潮线和平均小潮高潮线之间为中潮滩, 主要植被是互花米草; 平均大潮低潮线和平均小潮低潮线之间的部位为低潮滩^[39], 无植被生长。本研究根据浒茂洲东部潮滩微地貌特征将其划分为 3 个地貌单元: 高潮滩、中潮滩和低潮滩(图 1b), 于 2020 年 1 月(冬季)和 6 月(夏季)分别获取 20、21 个沉积物(图 1b, 表 1)。表层沉积物采集于边长 10 cm 的方格, 采样厚度约为 1 cm。样品用聚乙烯自封袋封装后立即带回实验室冷冻保存。

3.2 研究方法

粒度前处理和测试: 表层沉积物 40℃ 烘干, 取约 0.2 g 置入烧杯, 加入 10 mL 浓度 10% 的 H_2O_2 和浓度 10% 的 HCl, 分别去除有机质和碳酸钙。反应 4 h 后加满去离子水, 静置约 12 h, 之后去除上清液, 加入约 5 mL 浓度 5% 的六偏磷酸钠, 将烧杯置入超声波仪分散 15 min, 之后使用美国 Beckman Coulter 公司生产的激光粒度仪(LS13320)测量。将沉积物粒度原始数据导入软件 LS13320, 绘制粒度频率曲线, 输出 Excel 格式后筛选得出粒度组分、平均粒径、中值粒径、众数等粒度参数。沉积物粒级根据其颗粒大小划分, 颗粒小于 $4 \mu\text{m}$ 为黏土, $4 \sim 63 \mu\text{m}$ 为粉砂, 大于 $63 \mu\text{m}$ 为砂。粒度测试在华东师范大学河口海岸学国家重点实验室完成。

TOC、TN 和 $\delta^{13}\text{C}$ 前处理和测试: 取约 20 g 样品, 置于冷冻干燥机干燥 24~28 h。干燥样品用玛瑙研钵研磨, 40℃ 烘干后称取约 3 g 置入 25 mL 烧杯。滴入浓度为 1 mol/L 的稀盐酸 20 mL, 反应 6 h, 期间每小时搅拌一次, 之后加满去离子水, 沉淀 12 h, 去除上清液, 重复 6~7 次, 直至 pH 在 6~7 之间。将装有样品的烧杯再次置入烘箱, 40℃ 烘干后装袋待测。TOC 和 TN 用有机元素分析仪(Vario Cube CN EA1110, Germany)测试, 误差小于 0.5%; $\delta^{13}\text{C}$ 用稳定同位素质谱仪(Delta V Advantage)测试, 误差小于 0.2‰。TOC、TN 和 $\delta^{13}\text{C}$ 测试在自然资源部第三海洋研究所完成。

4 结果

4.1 粒度特征

粒度分析结果见表 1、表 2、图 2 和图 3。夏季, 高潮滩沉积物以黏土质粉砂为主(表 1), 粒度频率曲

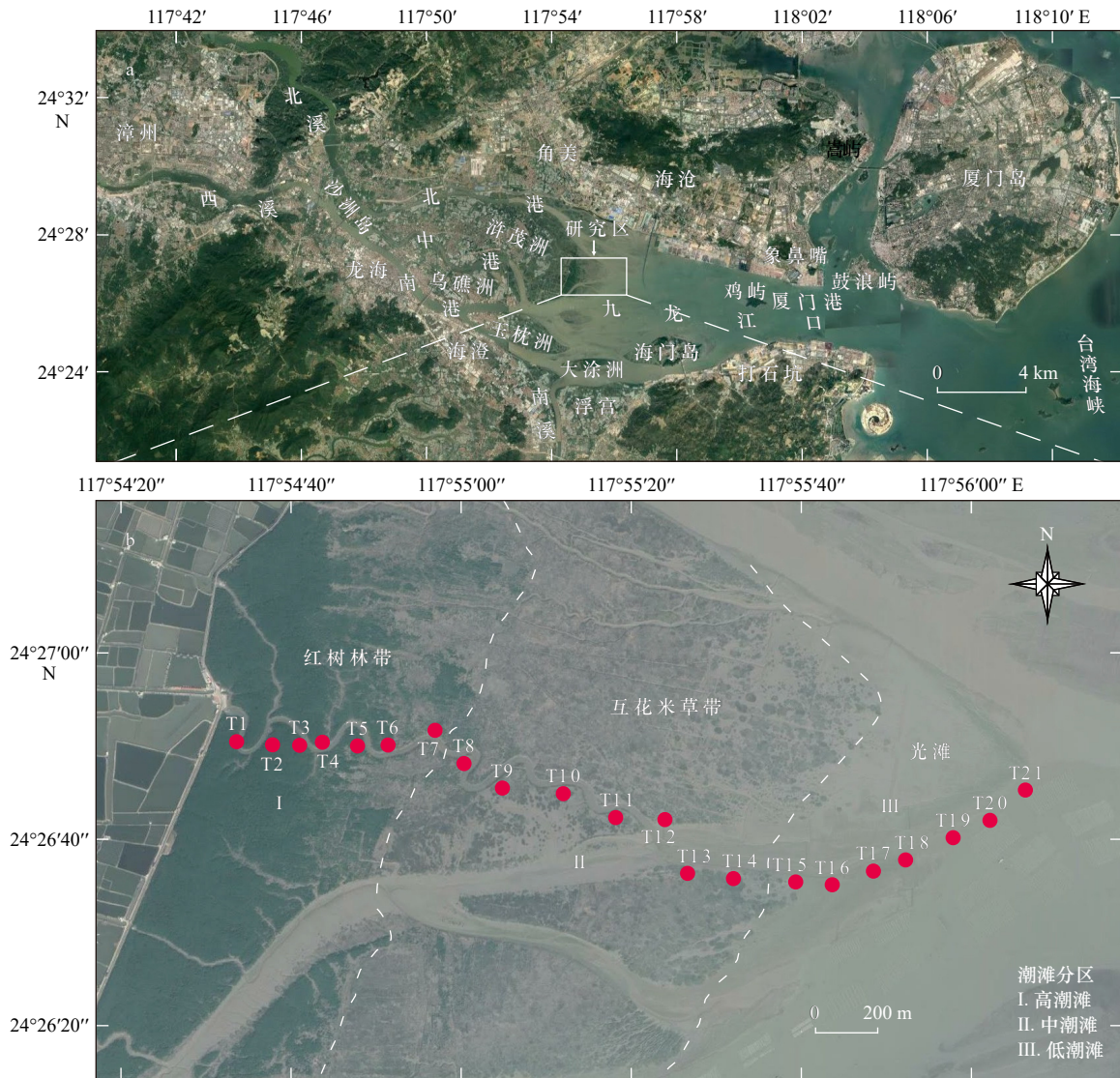


图1 九龙江河口及潮滩站位分布

Fig. 1 Location of the Jiulong River Estuary and sampling locations from tidal flat

线呈宽缓的多峰(图 2a), 主峰粒径为 $8.54\sim 11.29\ \mu\text{m}$, 次峰为 $0.30\sim 0.39\ \mu\text{m}$; 黏土粒度组分均值为 44.4% , 粉砂为 52.3% , 砂为 3.3% (图 3); 平均粒径为 $8.0\sim 24.2\ \mu\text{m}$ 。中潮滩以黏土质粉砂为主, 频率曲线右偏, 有 2~3 个峰(图 2b), 主峰粒径为 $9.37\sim 11.29\ \mu\text{m}$, 次峰为 $0.33\sim 0.36\ \mu\text{m}$, 其中 4 个样品的第 3 个峰值为 $185.4\sim 203.5\ \mu\text{m}$; 黏土粒度组分均值为 42.6% , 粉砂为 52.3% , 砂为 5.1% ; 平均粒径为 $10.4\sim 32.3\ \mu\text{m}$ 。低潮滩包括黏土质粉砂、砂质粉砂和粉砂质砂, 频率曲线为宽缓多峰型, 右偏程度大(图 2c), 主峰粒径为 $140.1\sim 245.2\ \mu\text{m}$, 次峰为 $10.29\sim 11.30\ \mu\text{m}$; 其中 T18-T20 的第 3 个峰值为 $168.9\sim 245.2\ \mu\text{m}$; 黏土粒度组分均值为 30.5% , 粉砂为 48.3% , 砂为 21.2% ; 平均粒径为 $20.2\sim 114.6\ \mu\text{m}$ 。

冬季, 3 个地貌单元沉积物岩性均以黏土质粉砂

为主。高潮滩粒度频率曲线呈双峰型(图 2d), 主峰粒径为 $8.54\sim 9.37\ \mu\text{m}$, 次峰为 $0.33\sim 0.36\ \mu\text{m}$; 黏土粒度组分均值为 45.9% , 粉砂为 51.2% , 砂为 2.9% ; 平均粒径为 $8.6\sim 15.1\ \mu\text{m}$ 。中潮滩呈宽缓多峰(图 2e), 主峰粒径为 $8.536\sim 11.290\ \mu\text{m}$, 次峰为 $26.41\sim 28.70\ \mu\text{m}$, 粗颗粒样品第 3 个峰值为 $185.4\sim 245.2\ \mu\text{m}$; 黏土粒度组分均值为 42.8% , 粉砂为 50.0% , 砂为 7.2% ; 平均粒径为 $12.3\sim 39.5\ \mu\text{m}$ 。低潮滩呈宽缓多峰, 峰态再次右偏(图 2f), 主峰粒径为 $8.54\sim 10.30\ \mu\text{m}$, 次峰为 $127.6\sim 185.4\ \mu\text{m}$; 黏土粒度组分均值为 42.6% , 粉砂为 49.1% , 砂为 8.4% ; 平均粒径为 $12.7\sim 29.7\ \mu\text{m}$ 。

综上, 研究区沉积物自陆向海黏土含量减少, 砂的比例增加, 峰态逐渐右偏, 平均粒径增大, 反映粒径由高潮滩向低潮滩变粗。高、中潮滩粒度的季节变化较小, 而低潮滩夏季显著粗于冬季。

表 1 九龙江河口潮滩表层沉积物站位信息

Table 1 Site information of surficial sediment samples of tidal flat in the Jiulong River Estuary

地貌单元	站位	纬度	经度	离岸距离/m	岩性	
					夏季	冬季
高潮滩	T1	24°26'39.73"N	117°54'50.32"E	71	粉砂质黏土	黏土质粉砂
	T2	24°26'39.47"N	117°54'54.41"E	196	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T3	24°26'39.33"N	117°54'57.61"E	277	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T4	24°26'39.32"N	117°54'59.96"E	354	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T5	24°26'39.26"N	117°55'4.43"E	483	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T6	24°26'39.30"N	117°55'8.1"E	566	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T7	24°26'40.58"N	117°55'13.23"E	672	黏土质粉砂	黏土质粉砂
中潮滩	T8	24°26'37.40"N	117°55'17.05"E	832	黏土质粉砂	粉砂质黏土
	T9	24°26'34.84"N	117°55'21.2"E	972	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T10	24°26'34.19"N	117°55'28.55"E	1 164	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T11	24°26'31.66"N	117°55'34.77"E	1 373	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T12	24°26'31.05"N	117°55'40.29"E	1 585	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T13	24°26'25.76"N	117°55'42.99"E	1 701	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T14	24°26'25.15"N	117°55'48.4"E	1 891	黏土质粉砂	黏土质粉砂
低潮滩	T15	24°26'25.16"N	117°55'55.94"E	2 274	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T16	24°26'24.44"N	117°56'0.18"E	2 368	黏土质粉砂	粉砂质黏土
	T17	24°26'25.85"N	117°56'5.05"E	2 508	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T18	24°26'27.13"N	117°56'8.97"E	2 619	黏土质粉砂	黏土质粉砂
	T19	24°26'29.47"N	117°56'14.41"E	2 721	粉砂质砂	黏土质粉砂
	T20	24°26'31.37"N	117°56'18.85"E	2 838	砂质粉砂	黏土质粉砂
	T21	24°26'34.51"N	117°56'23.49"E	2 948	黏土质粉砂	—

4.2 有机碳分布特征

有机碳分析结果包括 TOC、TN、C/N (TOC/TN) 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的季节和空间分布, 见图 4 和表 3。

夏季 TOC 含量在 0.74%~2.08% 之间, 由高潮滩向低潮滩降低, 高潮滩呈显著高值 (图 4)。冬季 TOC 含量在 1.01%~1.92% 之间, 由陆向海的空间分布趋势与夏季一致。冬季高潮滩 TOC 含量较夏季低, 而低潮滩较夏季高。

夏季 TN 含量在 0.09%~0.22% 之间, 由高潮滩向低潮滩降低, 低潮滩呈显著低值 (图 4)。冬季 TN 含量在 0.14%~0.22% 之间, 空间分布与夏季一致, 中、低潮滩均值较为接近。冬季 TN 在高、中潮滩的均值与夏季较为接近, 但在低潮滩显著高于夏季。

夏季 C/N 比值在 6.14~10.06 之间, 高、中、低潮滩均值分别为 8.13、7.38 和 8.07 (图 4); 冬季 C/N 比值

在 6.21~9.23 之间, 由陆向海逐渐降低, 高、中、低潮滩均值分别为 7.45、7.20 和 7.11。冬季各地貌单元的 C/N 均值均低于夏季。

夏季 $\delta^{13}\text{C}$ 分布于 -25.81‰~-23.08‰ 之间, 总体由高潮滩向低潮滩偏负 (图 4)。冬季 $\delta^{13}\text{C}$ 在 -25.99‰~-22.98‰ 之间, 由陆向海逐渐偏正, 高、中、低潮滩的均值分别为 -24.73‰、-23.76‰、-23.44‰。 $\delta^{13}\text{C}$ 的季节分布, 总体上冬季较夏季偏正。

5 讨论

5.1 潮滩表层沉积物有机质来源

河口潮滩是海岸带蓝碳和碳中和研究的重要地带, 也是生态系统多样性研究的热点, 其沉积物有机物源包括陆地、海洋和河口自生。陆源有机质主要来自淡水颗粒有机碳 (POC)、淡水藻类、C3 植物碎

表 2 九龙江河口潮滩表层沉积物粒度参数

Table 2 Grain size of surficial sediment samples of tidal flat in the Jiulong River Estuary

季节	地貌单元		黏土/%	粉砂/%	砂/%	平均粒径/ μm	中值粒径/ μm	标准偏差	偏态	峰态
夏季	高潮滩	均值	44.4	52.3	3.3	12.5	5.2	21.9	4.0	24.0
		范围	37.6~49.7	49.0~54.3	0~10.7	8.0~24.2	4.1~7.1	9.3~44.1	1.8~5.9	3.3~50.0
	中潮滩	均值	42.6	52.3	5.1	16.1	5.7	32.4	4.3	22.5
		范围	37.0~45.8	48.6~57.5	2.2~13.3	10.4~32.3	4.8~7.4	19.7~62.8	2.6~5.3	5.7~35.8
	低潮滩	均值	30.5	48.3	21.2	51.5	14.0	77.4	2.5	8.2
		范围	22.8~35.4	36.9~56.9	7.8~40.3	20.2~114.6	7.9~27.0	35.1~150.3	1.4~4.0	1.6~22.5
冬季	高潮滩	均值	45.9	51.2	2.9	11.7	4.9	22.5	5.2	37.7
		范围	40.9~49.2	49.5~56.1	1.3~5.1	8.6~15.1	4.2~5.9	16.4~31.5	3.9~6.7	20.3~61.5
	中潮滩	均值	42.8	50.0	7.2	21.7	5.7	45.1	3.7	16.8
		范围	38.1~52.4	34.7~57.6	4.9~14.2	12.3~39.5	3.4~7.1	18.1~97.9	2.5~4.3	4.9~27.1
	低潮滩	均值	42.6	49.1	8.4	20.1	5.9	39.2	3.8	17.2
		范围	37.1~50.8	45.3~51.5	3.7~14.7	12.7~29.7	3.8~7.5	28.7~54.0	2.5~5.2	5.5~31.6

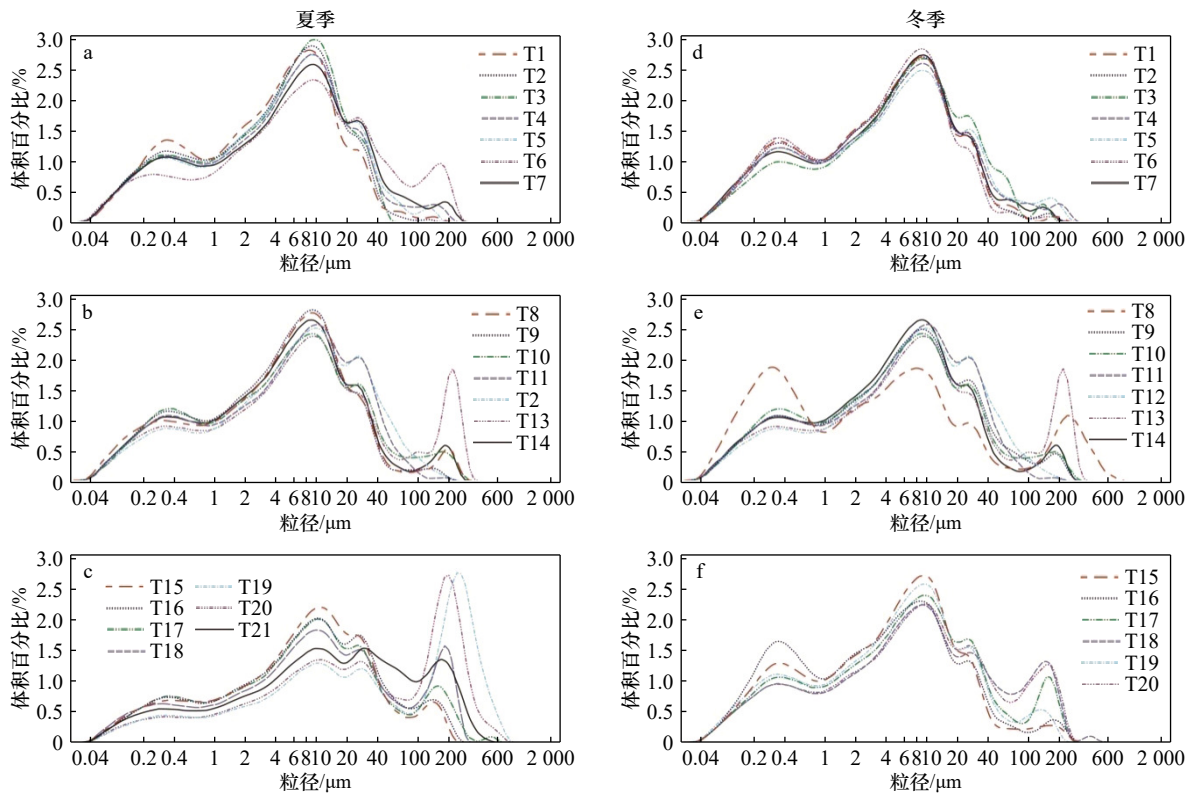


图 2 九龙江河口潮滩微相沉积物粒度曲线

Fig. 2 Volume curves in particle size for samples from differential sedimentary environments of tidal flat in the Jiulong River Estuary

a. 夏季高潮滩, b. 夏季中潮滩, c. 夏季低潮滩, d. 冬季高潮滩, e. 冬季中潮滩, f. 冬季低潮滩

a. Upper tidal flat in summer, b. middle tidal flat in summer, c. lower tidal flat in summer, d. upper tidal flat in winter, e. middle tidal flat in winter, f. lower tidal flat in winter

屑和 C4 植物碎屑; 海源有机质主要来自海洋 POC、海洋藻类和细菌; 九龙江口潮滩自生有机质主要来自

红树林碎屑、互花米草碎屑、工农业废水、动物和微生物残体等。潮滩是河流与海洋有机物的汇聚沉积

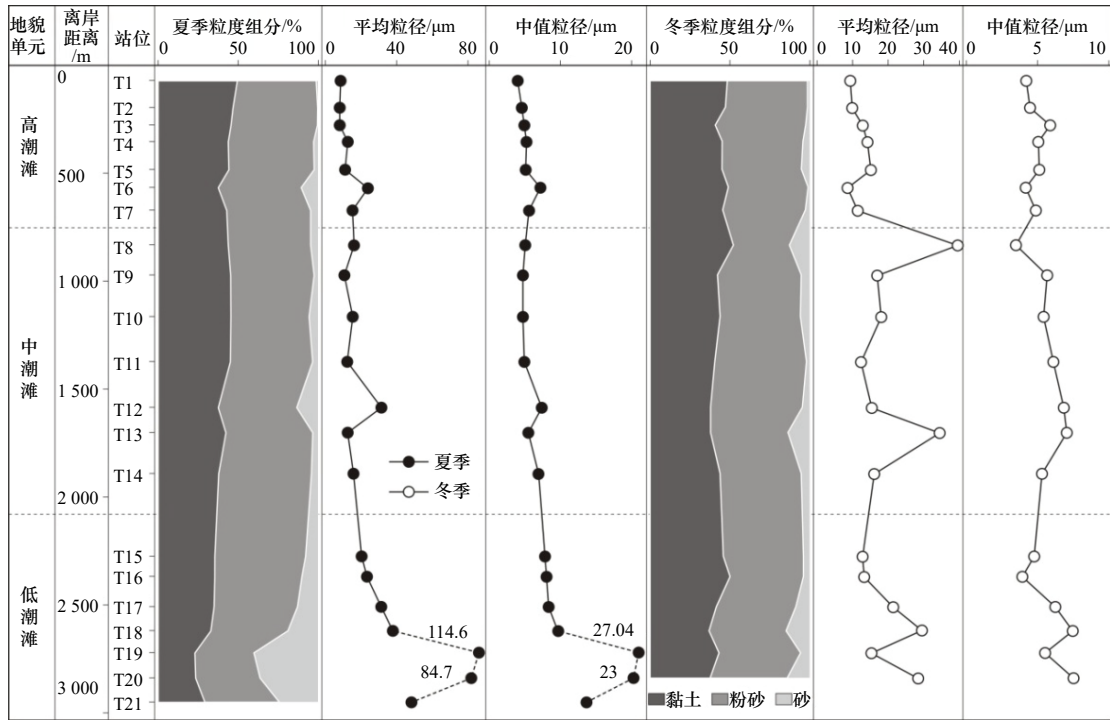


图 3 九龙江河口潮滩沉积物粒度

Fig. 3 Grain size of tidal flat samples in the Jiulong River Estuary

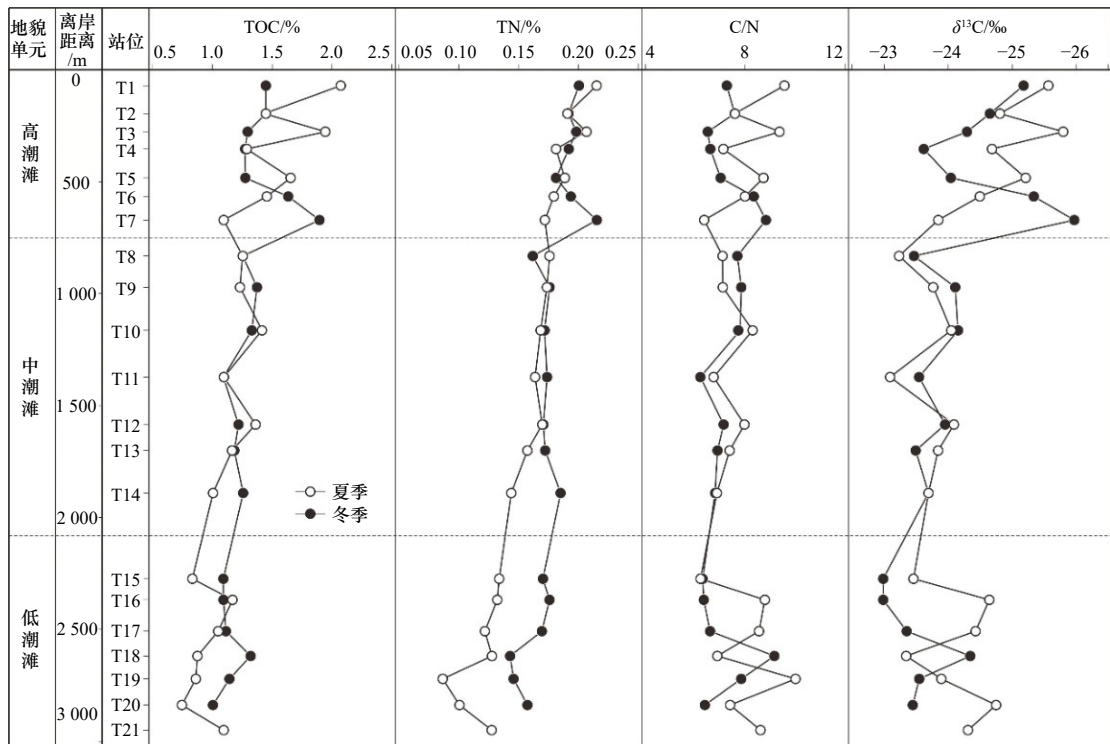


图 4 九龙江河口潮滩沉积物总有机碳 (TOC)、有机氮 (TN)、碳氮比 (C/N) 和稳定碳同位素 ($\delta^{13}C$) 时空分布

Fig. 4 Temporal and spatial distribution of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), mass ratio of TOC vs TN (C/N) ratio, and organic carbon stable isotopes ($\delta^{13}C$) for samples from tidal flat in the Jiulong River Estuary

环境, 因此首先分析陆源和海源有机质的贡献。将潮滩沉积物 $\delta^{13}C$ 和 C/N 投影到 Lamb 等^[10] 全球海岸带沉积物有机质来源分布模式图上, 判断有机质来源。结

果显示, 夏季高潮滩沉积物主要落入淡水 POC 和淡水藻类范围, 反映陆源有机质的主要贡献; 中潮滩均落入海洋 POC 和海洋藻类 (图 5a), 反映海洋有机质

表3 九龙江河口潮滩沉积物中总有机碳 (TOC)、有机氮 (TN)、碳氮比 (C/N) 和稳定碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 数值特征
 Table 3 Total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), mass ratio of TOC vs TN (C/N) ratio, and organic carbon stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) values for samples from tidal flat in the Jiulong River Estuary

地貌单元		TOC/%		TN/%		C/N		$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	
		夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季
高潮滩	均值	1.57	1.47	0.19	0.20	8.13	7.45	-24.92	-24.73
	范围	1.10~2.08	1.27~1.92	0.17~0.22	0.18~0.22	6.35~9.62	6.49~8.88	-25.81~-23.88	-25.99~-23.60
中潮滩	均值	1.22	1.25	0.16	0.17	7.38	7.20	-23.68	-23.76
	范围	1.00~1.41	1.08~1.38	0.14~0.18	0.16~0.19	6.72~8.39	6.21~7.87	-24.08~-23.08	-24.15~-23.43
低潮滩	均值	0.95	1.13	0.12	0.16	8.07	7.11	-24.12	-23.44
	范围	0.74~1.17	1.01~1.32	0.09~0.13	0.14~0.18	6.14~10.06	6.30~9.23	-24.76~-23.32	-24.36~-22.98

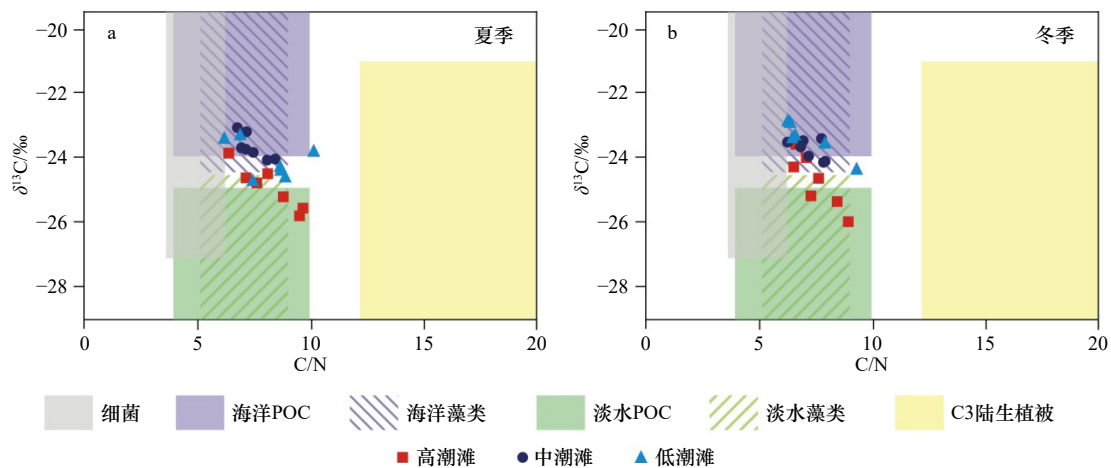


图5 九龙江河口潮滩表层沉积物有机质来源(据 Lamb 等^[10])

Fig. 5 Organic sources for samples from tidal flat in the Jiulong River Estuary (from Lamb et al^[10])

的主要贡献;低潮滩多落入海洋 POC、海洋藻类和细菌,2 个样品落入淡水藻类,也反映海源有机质的主要贡献。冬季高潮滩沉积物 4 个样品落入淡水 POC 和淡水藻类范围,3 个样品落入海洋 POC 和海洋藻类(图 5b),反映海源、陆源有机质的混合;中潮滩和低潮滩样品均落入海洋 POC、海洋藻类和细菌范围,反映海源有机质的主要贡献。综上,有机质来源高潮滩以陆源为主,中、低潮滩海洋有机质贡献主导,冬季海源贡献增加。

九龙江河口的高潮滩分布红树林,中潮滩分布互花米草,红树林碎屑和互花米草碎屑是潮滩主要的自生有机质,它们对潮滩沉积物有机质有重要贡献。利用区域陆源、海源、红树林和互花米草的稳定碳同位素端元值(不考虑其他来源),通过稳定同位素混合模型(IsoSourceV1.3.1)软件^[41-42],分析这 4 个端元对潮滩沉积物有机质来源的贡献比例。九龙江口潮滩沉积物有机质来源贡献中各端元的稳定碳同位素值:陆源

端元采用九龙江颗粒有机物(POM),其碳同位素值为 -25.29‰ ^[43],海源端元采用海洋浮游植物,碳同位素值为 -20.9‰ ^[41],红树林端元采用当地优势种秋茄,碳同位素值为 -28.77‰ ^[43],互花米草端元采用当地互花米草,碳同位素值为 -15.63‰ ^[43]。结果显示(表 4,图 6),陆源 POM 贡献率在潮滩各地貌单元的冬、夏季均超过 30%,揭示河流携带的陆源有机质是潮滩沉积物有机质的主要来源。各地貌单元之间,陆源贡献率总体由高潮滩向低潮滩(向海)降低,冬季更为明显。海洋浮游植物贡献率,高潮滩最低,总体向海增加,这与高潮滩海水淹没时长最长、低潮滩淹没时长最短的规律一致。红树林贡献率,高潮滩呈显著高值(各季均高于 35%),高于陆源 POM 的贡献率,反映红树林碎屑对高潮滩沉积物有机质的主要贡献。互花米草贡献率,中潮滩夏季呈现高值,冬季次高值,与互花米草主要生长在中潮滩的分布基本一致。稳定同位素混合模型分析的陆、海有机质来源比例在时空

表 4 不同有机质来源在九龙江河口潮滩沉积物中的贡献

Table 4 Contribution rate of different organic matter sources of tidal flat sediments in the Jiulong River Estuary

地貌单元	陆源POM/%		海洋浮游植物/%		红树林/%		互花米草/%		
	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	
高潮滩	均值	34.8	34.4	17.5	18.7	37.3	35.7	10.4	11.17
	范围	31.8~38.4	28.2~38.3	12.3~25.2	12.9~26.2	28.5~48.2	28.2~52.3	7.4~14.4	6.6~15.7
中潮滩	均值	32.8	33.3	25.1	24.7	26.3	27.0	15.8	15.23
	范围	28.7~36.8	31.6~35.3	22.5~28.5	22.1~26.4	23.5~30.0	23.0~32.0	13.5~19.3	13.4~16.6
低潮滩	均值	34.4	30.1	22.5	26.8	29.5	25.9	13.5	17.18
	范围	30.3~37.3	27.8~34.0	18.7~27.6	25.5~29.1	24.3~35.6	23.2~32.0	10.9~17.2	12.4~19.9

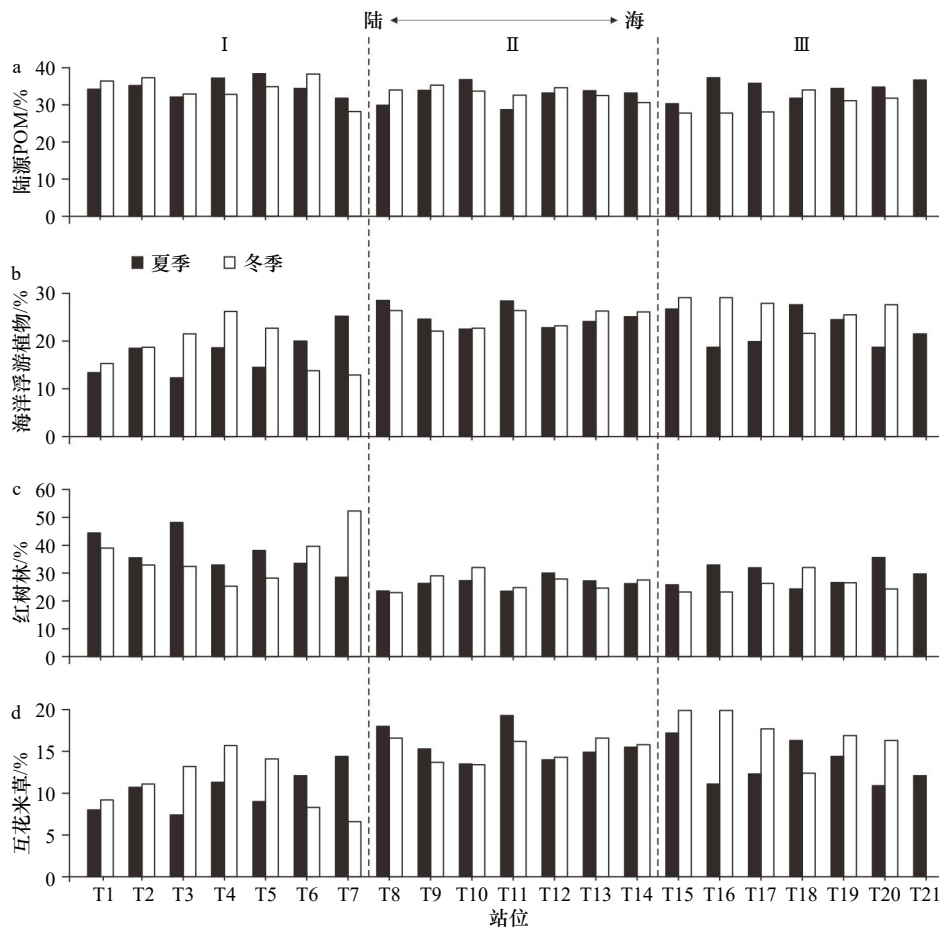


图 6 九龙江河口潮滩表层沉积物不同有机质来源的贡献率

Fig. 6 Contribution rate of different organic matter sources in surface sedimentary samples from tidal flat in the Jiulong River Estuary

I. 高潮滩, II. 中潮滩, III. 低潮滩

I. Upper tidal flat, II. middle tidal flat, III. lower tidal flat

分布上与 Lamb 模式图的有机质来源结果基本吻合, 反映有机质来源的时空分布受控于河口和潮滩的水动力环境。

5.2 潮滩有机质时空分布特征及水动力意义

季节分布上, 有机碳指标 TOC 在高潮滩夏季高

于冬季、C/N 在各潮滩微相夏季均高于冬季、 $\delta^{13}C$ 夏季较冬季偏负, 反映潮滩有机质受季节变化影响, 夏季陆源有机质信号增强。九龙江流域位于亚热带季风区, 洪季陆源输入占绝对优势, 径流携带的 POC 和淡水藻类沉积在潮滩, 这与九龙江年径流量和年输沙

量的季节变化一致^[34]。枯季径流变小,且九龙江口为强潮河口^[36],海洋作用强烈,因此主要受潮流作用。同时冬季河口存在高盐水沿鸡屿以北从河口底部上涌到河口湾顶部的河口环流也有一定作用^[44]。此外,有机质来源的季节变化表明,夏季高潮滩和低潮滩的陆源信号较冬季强,也揭示夏季径流影响。但夏季 TOC 在低潮滩低于冬季, $\delta^{13}\text{C}$ 偏负,指示陆源信号更强,原因可能是低潮滩靠近分流汉道(图 1b),夏季受径流携带的陆源输入影响。

空间分布上,排除误差干扰的前提下,总体上由陆向海 TOC、TN、C/N 降低, $\delta^{13}\text{C}$ 偏正,反映海源有机质信号增强,陆源贡献率降低,且高潮滩陆源信号显著偏强。上述指标变化与粒径向海逐渐变粗指示的水动力变化特征趋势一致(图 2, 图 3),揭示有机碳指标、有机质来源和陆源贡献率受潮滩沉积动力控制。

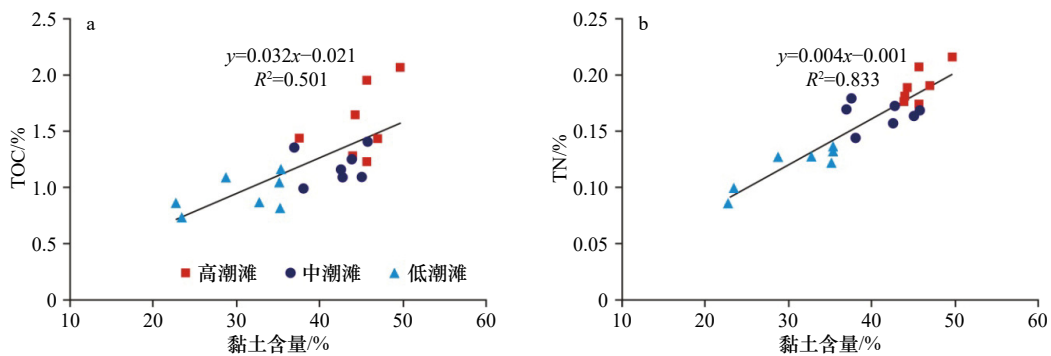


图 7 夏季潮滩表层沉积物有机碳(TOC)、有机氮(TN)与黏土含量之间的相关关系

Fig. 7 Relationship between total organic carbon (TOC) and clay, and total nitrogen (TN) and clay of surface sedimentary samples from tidal flat in summer

总之,陆源有机质贡献的季节变化,揭示潮滩有机质来源受控于入海径流的季节变化。海源有机质信号由高潮滩向低潮滩增强,反映有机质受潮汐动力控制和潮滩植被影响。

5.3 潮滩有机质沉积微相分异指标

位于高潮滩和潮上带的滨海盐沼是高精度海平面重建的关键地层^[7-9],识别地层中滨海盐沼与中、低潮滩的沉积微相对海平面重建和古环境研究有重要意义。本研究结果显示高潮滩 TOC、TN 较中、低潮滩呈现显著高值, $\delta^{13}\text{C}$ 显著偏负。箱形图可判断上述指标的差异性,图 8 显示, TOC、TN 和 $\delta^{13}\text{C}$ 在高潮滩和中-低潮滩之间差异较显著,进一步做 t 检验,检查两组数据之间差异的显著性, t 检验结果显示 TOC 在夏季和冬季的 P 值分别为 0.01 和 0.019(图 8a),均小于 0.05,反映两组数据间存在显著性差异; TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 在夏季和冬季 P 值均小于 0.01(图 8b, 图 8c),显著性

首先,潮汐对潮滩作用的强度和时长由陆向海增加,中、低潮滩主要受涨落潮影响,流速快,沉积动力强,而高潮滩主要受涨落潮间的憩流影响,沉积环境相对稳定,动力弱。中、低潮滩海水淹没的时间长,海源有机质增加。其次, TOC、TN 分布受沉积动力影响。受潮汐动力作用,黏土含量由海向陆增加,这与 TOC、TN 空间变化有较强的相关性(图 7),相关系数 R^2 分别为 0.501、0.833,也反映有机质富集于细颗粒沉积物^[45]。再次,在潮滩环境和沉积动力作用下,九龙江口潮滩植物分带明显:高潮滩主要为红树林,中潮滩主要为互花米草。红树林是陆源 C3 植物,其 $\delta^{13}\text{C}$ 均值在九龙江口为 -28.77% ^[43],而互花米草为 C4 植物, $\delta^{13}\text{C}$ 为 -15.63% ^[43]。红树林凋落物贡献高潮滩沉积物有机质,中潮滩海源有机质信号很大程度上受互花米草影响。

超过 99%,反映极显著性差异。尽管有机质沉积后会受到降解、再矿化等早期成岩作用改造^[46-47],但潮滩在周期性潮汐淹没下形成的厌氧环境能有效抑制有机质的分解过程,且九龙江口潮滩具有较高的沉积速率^[37],有机质可得到较好保存^[5]。罗专溪等^[38]研究九龙江口潮滩植物掉落物 1 a 的降解速率,红树林约为 20.2%,互花米草约为 9.0%。Lamb 等^[10]也指出,早期成岩作用对有机质来源的区分影响较小,有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N 的变化可以指示海岸带地层中有机碳来源和埋藏的变化。因此,本研究提出,有机碳参数组合 TOC、TN 和 $\delta^{13}\text{C}$ 可作为九龙江河口地层中高潮滩与中、低潮滩的判别指标。

6 结论

(1) 九龙江河口潮滩表层沉积物的粒度自陆向海,黏土含量逐渐减少,砂的比例增加,峰态逐渐右

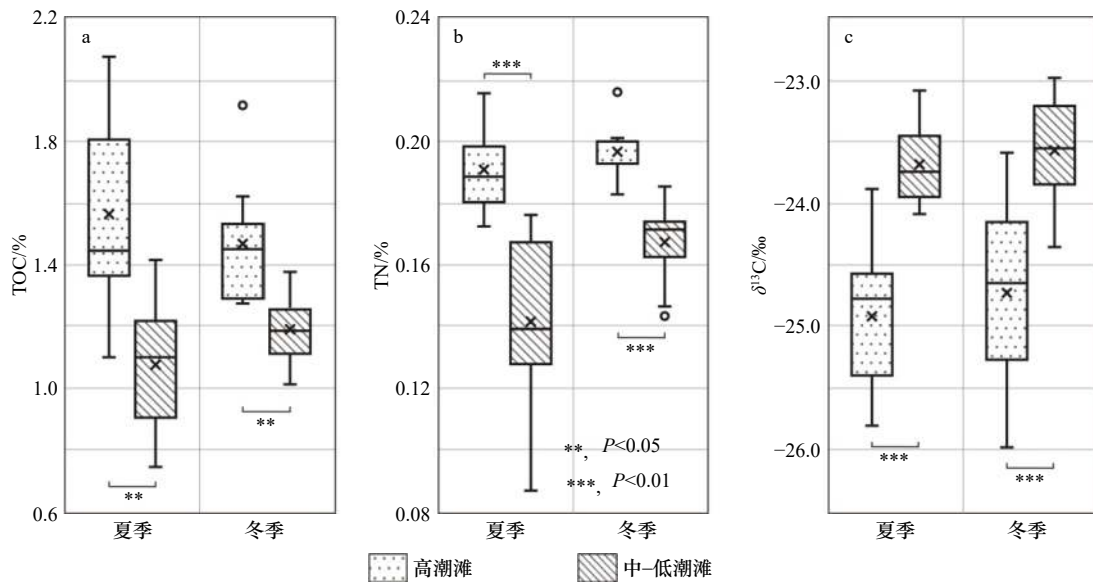


图 8 有机碳参数差异性箱形图

Fig. 8 Box-and-whisker plot of differentiation for organic carbon parameters

偏,平均粒径增大,粒径由高潮滩向低潮滩变粗。粒度的季节变化在高、中潮滩较小,低潮滩夏季显著粗于冬季。

(2) 九龙江河口潮滩沉积物的 TOC、TN 和 C/N 从高潮滩向低潮滩降低, $\delta^{13}\text{C}$ 值总体夏季偏负、冬季偏正,空间上由陆向海偏正。潮滩沉积物有机质来源,高潮滩以陆源和红树林碎屑贡献为主,中潮滩以海源和互花米草碎屑贡献为主,低潮滩海源有机质贡献占主导。夏季陆源有机质贡献高于冬季,冬季海源有机质贡献增加。

参考文献:

- [1] 王法明,唐剑武,叶思源,等. 中国滨海湿地的蓝色碳汇功能及碳中和对策[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(3): 241–251.
Wang Faming, Tang Jianwu, Ye Siyuan, et al. Blue carbon sink function of Chinese coastal wetlands and carbon neutrality strategy[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(3): 241–251.
- [2] 刘敏,侯立军,许世远,等. 长江口潮滩有机质来源的C、N稳定同位素示踪[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 918–926.
Liu Min, Hou Lijun, Xu Shiyuan, et al. Carbon and nitrogen stable isotopes as tracers to source organic matter in the Yangtze Estuary[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(6): 918–926.
- [3] 许世远,邵虚生,洪雪晴,等. 杭州湾北部滨岸的风暴沉积[M]. 上海: 华东师大出版社, 1984.
Xu Shiyuan, Shao Xusheng, Hong Xueqing, et al. Storm Deposit of North Hangzhou Bay[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1984.
- [4] 邵虚生,严钦尚. 上海潮坪沉积[J]. 地理学报, 1982, 37(3): 241–251.
Shao Xusheng, Yan Qinshang. Intertidal flat sediments in Shanghai coastal region[J]. Acta Geographica Sinica, 1982, 37(3): 241–251.
- [5] 唐剑武,叶属峰,陈雪初,等. 海岸带蓝碳的科学概念、研究方法以及在生态恢复中的应用[J]. 中国科学:地球科学, 2018, 61(6): 637–646.
Tang Jianwu, Ye Shufeng, Chen Xuechu, et al. Coastal blue carbon: concept, study method, and the application to ecological restoration[J]. Science China Earth Sciences, 2018, 61(6): 637–646.
- [6] 高晓琴,王张华,李琳,等. 长江口现代潮滩表层沉积物磁性特征和自生铁硫化物的分布[J]. 古地理学报, 2012, 14(5): 673–684.
Gao Xiaoqin, Wang Zhanghua, Li Lin, et al. Magnetic properties of surficial sediments and distribution of authigenic iron sulfide in modern tidal flat at Yangtze Estuary[J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14(5): 673–684.
- [7] 战庆. 长江三角洲全新世早中期高精度海平面曲线重建及沉积地貌环境响应初探[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.

- Zhan Qing. The Early to Mid-Holocene sea-level reconstruction and sedimentary environmental response of the Yangtze Delta plain, China[D]. Shanghai: East China Normal University, 2012.
- [8] Wang Zhanghua, Zhuang Chencheng, Saito Y, et al. Early Mid-Holocene sea-level change and coastal environmental response on the southern Yangtze Delta plain, China: implications for the rise of Neolithic culture[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2012, 35: 51–62.
- [9] Wang Zhanghua, Zhan Qing, Long Haiyan, et al. Early to Mid-Holocene rapid sea-level rise and coastal response on the southern Yangtze Delta plain, China[J]. *Journal of Quaternary Science*, 2013, 28(7): 659–672.
- [10] Lamb A L, Wilson G P, Leng M J. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material[J]. *Earth-Science Reviews*, 2006, 75(1/4): 29–57.
- [11] Allison M A, Khan S R, Goodbred Jr S L, et al. Stratigraphic evolution of the late Holocene Ganges-Brahmaputra lower delta plain[J]. *Sedimentary Geology*, 2003, 155(3/4): 317–342.
- [12] Kao S J, Shiah F K, Wang C H, et al. Efficient trapping of organic carbon in sediments on the continental margin with high fluvial sediment input off southwestern Taiwan[J]. *Continental Shelf Research*, 2006, 26(20): 2520–2537.
- [13] 王爱军, 陈坚, 李东义, 等. 泉州湾海岸湿地沉积物C、N的空间变化[J]. *环境科学*, 2007, 28(10): 2361–2368.
Wang Aijun, Chen Jian, Li Dongyi, et al. Spatial variations of carbon and nitrogen in coastal wetland sediments of Quanzhou Bay in China[J]. *Environmental Science*, 2007, 28(10): 2361–2368.
- [14] Wang Aijun, Ye Xiang, Liu J T, et al. Sources of settling particulate organic carbon during summer in the northern Taiwan Strait[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2017, 198: 487–496.
- [15] Wang Aijun, Ye Xiang, Xu Xiaohui, et al. Settling flux and origin of particulate organic carbon in a macro-tidal semi-enclosed embayment: Luoyuan Bay, Southeast China Coast[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2018, 206: 38–48.
- [16] Hu Jianfang, Peng Ping'an, Jia Guodong, et al. Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopes in sediments of the subtropical Pearl River Estuary and adjacent shelf, Southern China[J]. *Marine Chemistry*, 2006, 98(2/4): 274–285.
- [17] Pan Dadong, Wang Zhanghua, Zhan Qing, et al. Organic geochemical evidence of past changes in hydro- and sediment-dynamic processes at river mouths: a case study of Holocene sedimentary records in the Changjiang River Delta, China[J]. *Continental Shelf Research*, 2020, 204: 104189.
- [18] Lamb A L, Vane C H, Wilson G P, et al. Assessing $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios from organic material in archived cores as Holocene sea level and palaeoenvironmental indicators in the Humber Estuary, UK[J]. *Marine Geology*, 2007, 244(1/4): 109–128.
- [19] Miserocchi S, Langone L, Tesi T. Content and isotopic composition of organic carbon within a flood layer in the Po River prodelta (Adriatic Sea)[J]. *Continental Shelf Research*, 2007, 27(3/4): 338–358.
- [20] Yu Fengling, Zong Yongqiang, Lloyd J M, et al. Mid-Holocene variability of the East Asian monsoon based on bulk organic $\delta^{13}\text{C}$ and C/N records from the Pearl River Estuary, Southern China[J]. *Holocene*, 2011, 22(6): 705–715.
- [21] Zhan Qing, Wang Zhanghua, Xie Yan, et al. Assessing C/N and $\delta^{13}\text{C}$ as indicators of Holocene sea level and freshwater discharge changes in the subaqueous Yangtze Delta, China[J]. *Holocene*, 2012, 22(6): 697–704.
- [22] Cui Meng, Wang Zhanghua, Rao K N, et al. A mid- to late-Holocene record of vegetation decline and erosion triggered by monsoon weakening and human adaptations in the south-east Indian Peninsula[J]. *Holocene*, 2017, 27(12): 1976–1987.
- [23] Wilson G P, Lamb A L, Leng M J, et al. $\delta^{13}\text{C}$ and C/N as potential coastal palaeoenvironmental indicators in the Mersey Estuary, UK[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2005, 24(18/19): 2015–2029.
- [24] Wang Zhanghua, Saito Y, Zhan Qing, et al. Three-dimensional evolution of the Yangtze River Mouth, China during the Holocene: impacts of sea level, climate and human activity[J]. *Earth-Science Reviews*, 2018, 185: 938–955.
- [25] Jiang Yamei, Saito Y, Ta T K O, et al. Spatial and seasonal variability in grain size, magnetic susceptibility, and organic elemental geochemistry of channel-bed sediments from the Mekong Delta, Vietnam: implications for hydro-sedimentary dynamic processes[J]. *Marine Geology*, 2020, 420: 106089.
- [26] 董洪芳, 于君宝, 管博. 黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征[J]. *环境科学*, 2013, 34(1): 288–292.
Dong Hongfang, Yu Junbao, Guan Bo. Distribution characteristics of soil organic carbon and its composition in Suaeda salsa wetland in the Yellow River Delta[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(1): 288–292.
- [27] 刘东艳, 申旭红, 王玉珏, 等. 烟台四十里湾表层沉积物有机质来源及环境意义[J]. *海洋学报*, 2012, 34(5): 205–212.
Liu Dongyan, Shen Xuhong, Wang Yujue, et al. Tracking the sources of organic matter in the surface sediments of Sishili Bay, Northern Yellow Sea and the environmental implication[J]. *Haiyang Xuebao*, 2012, 34(5): 205–212.
- [28] 任丽娟, 王国祥, 何聃, 等. 盐城潮滩湿地不同植被带土壤有机质空间分布特征[J]. *海洋科学进展*, 2011, 29(1): 54–62.
Ren Lijuan, Wang Guoxiang, He Dan, et al. Spatial distributions of soil organic matter in different vegetation zones of the Yancheng tidal flat[J]. *Advances in Marine Science*, 2011, 29(1): 54–62.
- [29] 余婕, 刘敏, 许世远, 等. 长江口潮滩有机质稳定碳同位素时空分布与来源分析[J]. *地理研究*, 2008, 27(4): 847–854.
Yu Jie, Liu Min, Xu Shiyuan, et al. Temporal-spatial distribution of stable carbon isotope of organic matter and source analysis in the Changjiang Estuary[J]. *Geographical Research*, 2008, 27(4): 847–854.
- [30] 徐皓, 冯佰香, 李加林, 等. 象山港潮滩沉积物有机质分布特征及物源影响分析[J]. *海洋与湖沼*, 2021, 52(1): 97–105.
Xu Hao, Feng Baixiang, Li Jialin, et al. Source and distribution of organic matters in tidal flat of Xiangshan Bay[J]. *Oceanologia et Lim-*

- nologia Sinica, 2021, 52(1): 97–105.
- [31] 章海波, 骆永明, 刘兴华, 等. 海岸带蓝碳研究及其展望[J]. 中国科学:地球科学, 2015, 45(11): 1641–1648.
Zhang Haibo, Luo Yongming, Liu Xinghua, et al. Current researches and prospects on the coastal blue carbon[J]. *Scientia Sinica Terrae*, 2015, 45(11): 1641–1648.
- [32] 徐勇航, 陈坚. 台湾海峡西岸闽江口和九龙江口沉积物中碎屑锆石铀-铅定年及物源意义[J]. 海洋学报, 2010, 32(4): 110–117.
Xu Yonghang, Chen Jian. Uranium-lead dating of detrital zircons from the Minjiang and Jiulong Estuaries in the western coast of the Taiwan Strait: implication for its provenance[J]. *Haiyang Xuebao*, 2010, 32(4): 110–117.
- [33] 温克刚, 宋德众, 蔡诗树. 中国气象灾害大典(福建卷)[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 12–16.
Wen Kegang, Song Dezhong, Cai Shishu. *Meteorological Disasters in China (Fujian)*[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 12–16.
- [34] 福建省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室. 福建省海岸带和海涂资源综合调查报告[R]. 北京: 海洋出版社, 1990.
Comprehensive Survey Leading Group Office of Coastal and Tidal Flat Resource in Fujian Province. *Comprehensive investigation report of coastal and tidal flat resource in Fujian province*[R]. Beijing: China Ocean Press, 1990.
- [35] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第八分册)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
Editorial Committee of Chinese Gulf Annals. *Chinese Gulf Annals (the First Book of Eight)*[M]. Beijing: China Ocean Press, 1993.
- [36] 曾刚. 厦门港海流分布特征[J]. 台湾海峡, 1987, 6(1): 1–5.
Zeng Gang. Characteristics of the distribution of the currents in the Xiamen Harbour[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1987, 6(1): 1–5.
- [37] 蔡爱智, 蔡月娥, 朱孝宁, 等. 福建九龙江口入海泥沙的扩散和河口湾的现代沉积[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(1): 57–67.
Cai Aizhi, Cai Yue'e, Zhu Xiaoning, et al. Diffusion and modern sedimentation of seaward transporting discharges in the estuary of Jiulongjiang River, Fujian Province[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1991, 11(1): 57–67.
- [38] 罗专溪, 邱昭政, 王振红, 等. 九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献[J]. 环境科学, 2013, 34(3): 900–906.
Luo Zhuaxi, Qiu Zhaozheng, Wang Zhenhong, et al. Contribution of plant litters to sediments organic matter in Jiulong River Estuary wetland[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(3): 900–906.
- [39] Freyr R W, Basan P B. Coastal salt marshes[M]//Davis R A. *Coastal Sedimentary Environments*. New York: Springer, 1985: 225–301.
- [40] 潘大东, 廖紫慧, 梁文清, 等. 九龙江口潮滩表层沉积物矿物磁性分异特征及其沉积环境意义[J]. 海洋科学, 2021, 45(11): 30–41.
Pan Dadong, Liao Zihui, Liang Wenqing, et al. Mineral magnetic characteristics of tidal flat surficial sediments and their implications for sedimentary environment identification in the Jiulong Estuary[J]. *Marine Sciences*, 2021, 45(11): 30–41.
- [41] Zheng Xinqing, Como S, Huang Lingfeng, et al. Temporal changes of a food web structure driven by different primary producers in a subtropical eutrophic lagoon[J]. *Marine Environmental Research*, 2020, 161: 105128.
- [42] Zheng Xinqing, Como S, Magni P, et al. Spatiotemporal variation in environmental features and elemental/isotopic composition of organic matter sources and primary producers in the Yundang Lagoon (Xiamen, China)[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(13): 13126–13137.
- [43] 吴高杰. 红树林沉积物有机碳的来源及其微生物碳同化研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2018.
Wu Gaojie. *Organic carbon sources and microbial carbon assimilation in sediment mangrove ecosystems*[D]. Xiamen: Xiamen University, 2018.
- [44] 王伟强, 黄尚高, 顾德宇, 等. 福建九龙江口河海水混合特征[J]. 台湾海峡, 1986, 5(1): 10–17.
Wang Weiqiang, Huang Shanggao, Gu Deyu, et al. Mixing characters of fresh water with sea water in the Jiulongjiang Estuary, Fujian[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1986, 5(1): 10–17.
- [45] Sampei Y, Matsumoto E. C/N ratios in a sediment core from Nakaumi Lagoon, Southwest Japan—usefulness as an organic source indicator[J]. *Geochemical Journal*, 2001, 35(3): 189–205.
- [46] Yang Shouye, Tang Min, Yim W W S, et al. Burial of organic carbon in Holocene sediments of the Zhujiang (Pearl River) and Changjiang (Yangtze River) estuaries[J]. *Marine Chemistry*, 2011, 123(1/4): 1–10.
- [47] 姚鹏, 郭志刚, 于志刚. 大河影响下的陆架边缘海沉积有机碳的再矿化作用[J]. 海洋学报, 2014, 36(2): 23–32.
Yao Peng, Guo Zhigang, Yu Zhigang. Remineralization of sedimentary organic carbon in river dominated ocean margins[J]. *Haiyang Xuebao*, 2014, 36(2): 23–32.

Temporal spatial distribution and source of organic matter in tidal flat surficial sediments and their implications for sedimentary environment identification in the Jiulong River Estuary

Pan Dadong¹, Zhang Lianghui¹, Lin Yongchong¹

(1. School of History and Geography, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China)

Abstract: This article is focus on the distribution and source of organic matter in tidal flat in the Jiulong River Estuary, and to seek effective organic geochemistry proxies for recognize sedimentary microfacies, and thus to help that organic carbon is better applied to identify sedimentary microfacies and paleo-environment. Forty one surficial sediment samples were obtained and measured their grain size, total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), and organic carbon stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) in the tidal flat from three sedimentary environments: upper tidal flat, middle tidal flat and lower tidal flat in summer and winter. The results show that, from upper tidal flat to lower tidal flat, the grain size of sediments becomes coarser gradually with decreasing TOC, TN and C/N, and the increase of $\delta^{13}\text{C}$. The sources of organic matter in the upper tidal flat are dominated by terrestrial organic matter and mangrove, marine organic matter and *Spartina alterniflora* in middle tidal, and marine organic matter in lower tidal flat. The distribution and sources of organic carbon in tidal flat from the Jiulong River Estuary are controlled by the seasonal changes of land-ocean interaction, sedimentary hydrodynamic sorting, and plants. There is a significant difference in TOC, and a highly significant difference in TN and $\delta^{13}\text{C}$ in sediments of the tidal flat. We thus proposed that organic geochemistry properties TOC, TN and $\delta^{13}\text{C}$ are the effective indicators to identify upper tidal flat and middle-lower tidal flat in the Jiulong River Estuary.

Key words: sedimentary dynamics; organic carbon; carbon stable isotopes; identification of sedimentary microfacies; tidal flat in the Jiulong River Estuary