

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2009.03009

天津市潮滩活体和埋藏有孔虫群的分布 及地质环境意义

李建芬^{1,2}, 裴艳东², 王福², 王宏²

(1 中国地质大学(北京) 海洋学院, 北京 100083; 2 中国地质调查局 天津地调中心, 天津 300170)

摘要: 对天津市潮滩 8 条垂直于海岸线剖面的 57 个表层沉积物样品进行了活体和死体有孔虫分析鉴定、粒度分析、含盐量测定, 利用全站仪对剖面进行了水准测量, 同时测定了海水盐度。研究了天津市潮滩有孔虫群的组成、数量及分异度等特征; 通过聚类分析将天津市潮滩活体有孔虫群分为 7 个带, 埋藏有孔虫群(活体+死体)分为 5 个带, 但除了埋藏群 I、IV 与活体有孔虫群 I、IV 组合特征一致外, 其他各带的组合特征及分带界线均不一致。通过分析活体有孔虫群分带与沉积物含盐量、海水盐度、潮位、沉积物组成等生态环境参数的关系, 探讨了活体有孔虫群的主要控制因素; 通过分析埋藏有孔虫群分带与潮位、沉积物粒径、现代沉积速率等沉积环境参数的关系, 探讨了埋藏有孔虫群的搬运及沉积作用。指出了天津市海岸带活体有孔虫群和埋藏有孔虫群的关系、环境特征及地质意义, 为该区高精度的古沉积环境划分提供了重要指标。

关键词: 活体有孔虫群; 埋藏有孔虫群; 生态环境; 沉积环境; 天津市潮滩

中图分类号: P736.22

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2009)03-0009-13

任何生物群落都有特定的生态环境, 海岸带有孔虫埋葬群是海岸沉积记录中环境信息的最佳提供者之一, 海岸沉积物则是海岸环境及其演变历史的记录者。因此, 通过对现代活体有孔虫与环境关系的研究来恢复古沉积环境已成为海岸带沉积环境及演变研究的一种有效方法, 一直引起各国学者对不同海区海岸带活体有孔虫研究的广泛关注^[1-25]。但有孔虫作为一种微体生物, 死亡后壳体的大小和重量与泥沙颗粒相当, 可以在水动力的作用下经受搬运、磨蚀和分选等沉积作用过程。导致壳体丰度和属种组成在空间和时间上的重新分布, 特别是在海岸带地区, 潮汐、波浪等海洋动力作用较强, 造成有孔虫活体种群及埋藏种群不一致。因此, 潮间带活体有孔虫群与埋藏有孔虫群具有不同的环境意义, 寻求海岸带有孔虫活体群及埋葬群与其环境之间的相关关系具有重要意义。在我国的东海及长江口区和江苏海岸带, 对活体及埋藏有孔虫群分布进行过研究^[4, 6, 9, 14, 16, 24, 26], 汪品先^[27-28]、朱晓东^[15, 29]分别对河口地区及江苏中南部潮滩埋藏有孔虫搬运进行了探讨, 为埋葬群形成的研究提供了良好的基

础。另外, 王绍鸿等^[30]、李淑鸾^[31]分别对福建深沪湾潮间带及珠江口的埋藏有孔虫进行了探讨。但渤海湾地区仅见有个别地点现代有孔虫的零星报道^[19, 32, 33], 未见有专文论述。

1 样品及方法

在天津市潮滩从南部的岐口到北部的大神堂之间, 垂直于现代岸线共布设 8 个取样剖面, 每个剖面从陆向海包括潮滩的上、中、下部, 水平距离约 5 km, 设有 5~8 个采样站位(图 1), 共采集样品 57 个。样品采集时间为 2005 年 6—9 月, 每个站位进行 GPS 定位, 利用挖泥斗将底质样品提取到船甲板后, 用内径 5.1 cm、厚 1 cm 小圆盒采集表层 1 cm 厚的样品装入样品瓶(每个样品体积为 20.4 cm³), 立即加入溶有虎红(四氯四碘荧光素钠盐)的酒精, 并充分搅拌, 对活体有孔虫进行染色。在室内过 240 目(0.063 mm)的湿铜筛。筛上部分经烘干后, 根据有孔虫数量的多少, 按 1/2、1/4……1/64 比例在显微镜下进行挑选、鉴定、统计。对有孔虫活体和死亡个体分别进行了统计, 测定了有孔虫壳体直径。同时, 每个样品利用 Malvern 2000 型激光粒度仪进行了粒度分析。另外, 对取样剖面利用全站仪进行了水准测量, 并将潮滩高度联网到国家 85 高程系, 用于确定准确的潮位; 测定了潮滩海水盐度及剖面 1、3、6 共计 17 个沉积物样品的含盐量。

基金项目: 中国地质调查局项目“环渤海湾重点地段环境地质调查及脆弱性评价”(1212010540501); 国家海洋局“908”专项(TJ908-02)

作者简介: 李建芬(1967—), 女, 副研究员, 主要从事微体古生物及海岸带地质环境变化研究, E-mail: tjlijianfen@cgs.gov.cn

收稿日期: 2008-12-19; 改回日期: 2009-03-01. 周立君编辑

2 结果

2.1 有孔虫丰度及分异度

在所有分析样品中共发现有孔虫 40 属 104 种, 其中活体 14 属 32 种。有孔虫的丰度及分异度在各采样点差别较大(表 1), 每个样品 (20.4 cm^3) 中活体有孔虫个体丰度在 0 至 976 个之间变化; 埋藏有孔虫(活体+死体)丰度在 4 至 46 016 个之间变化, 平行于岸线的纵向区域分布上个体数量在剖面 6 (蛭头沽剖面)以南明显低于以北的 3 个剖面, 基本分为 3 个区(图 1): 数量 $< 2\,000$ 个、数量 $2\,000 \sim 8\,000$ 个、数量 $> 8\,000$ 个。

无论活体还是埋藏有孔虫, 垂直于岸线的横向区域分布上一般在潮间带上部靠近岸线处数量较少, 在平均大潮高潮线(MHWST)之上地带未见活体有孔虫, 埋藏有孔虫数量也迅速减少, 如位于马棚口剖面的 P1 点仅见到 4 枚埋藏有孔虫, 潮间带中下部向下个体数量增加。

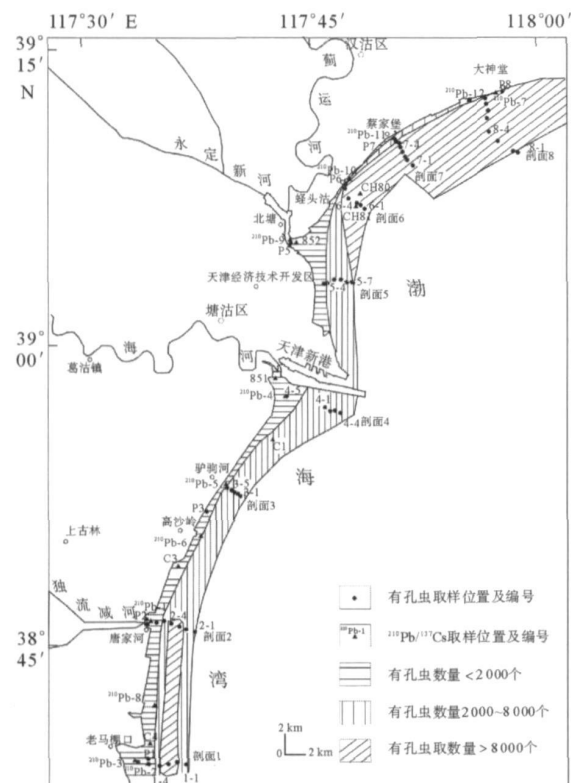


图 1 天津市潮滩有孔虫取样位置及数量(密度)分布

Fig. 1 Sampling station and total number distribution of foraminiferal taphocoenose specimens in Tianjin intertidal zone

埋藏有孔虫复合分异度为 $0.56 \sim 2.91$, 优势度高, 每个站位按有孔虫个体数量排序, 含量较高的两个种数量远高于其他种, 二者之和可达到 50% 以上, 前 10 种达到 78%。

2.2 活体及埋藏(活体+死体)有孔虫种群分布及组合群特征

在天津市潮间带地区不论活体还是埋藏有孔虫群均以钙质有孔虫为主。在埋藏群中钙质有孔虫占 92% 以上, 胶结质含量最多不足 8%, 而且, 胶结质有孔虫含量基本分布特征是由陆向海有增加的趋势。活体有孔虫群与埋藏有孔虫群的组合特征明显不同, 因此, 分别进行描述。

2.2.1 活体有孔虫群

一般站位活体有孔虫的数量占总体数量的比例小于 10%, 仅在站位 2-7、P5、5-1、6-6 大于 10%, 最高出现在站位 P8, 为 55%。可见活体有孔虫的丰度及种属数(简单分异度)均比死亡有孔虫明显偏少(表 1)。有些站位不存在活体有孔虫, 可能受到偶然因素影响: 第一, 有孔虫的生长期不同, 具有种群结构的季节性变化^[34], 虽然取样时间都在夏季, 但仍然不能完全排除季节性的影响; 另外, 有孔虫群在海底呈簇状或块状分布, 分布不均匀, 约 20 cm^2 不能全面捕获有孔虫群^[35]; 第三, 由于我们采用抓斗式采样器, 可能会使表层浮泥部分流失。因此, 在分析时根据周围站位情况分别作不同考虑。

天津市潮间带活体有孔虫按出现频率(57 个样品中出现该种的次数)由高到低, 前 14 种是 *Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)(频率 29)、*Ammonia limbatobeccarii* (凸镶边卷转虫)(频率 25)、*Protelphidium tuberculatum* (具瘤先希望虫)(频率 16)、*Ammobaculites* sp. (砂杆虫未定种)(频率 13)、*Ammonia confertitesta* (厚壁卷转虫)(频率 13)、*Trochammina* sp. (砂轮虫未定种)(频率 12)、*Elphidium simplex* (简单希望虫)(频率 10)、*Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)(频率 9)、*Cribronion* spp. (筛九字虫)(频率 8)、*Ammonia maruhasii* (丸桥卷转虫)(频率 6)、*Ammonia multicella* (多室卷转虫)(频率 4)、*Brizalina striatula* (条纹判草虫)(频率 4)、*Cribronion incertum* (易变筛九字虫)(频率 4)、*Cribronion porisuturalis* (孔缝筛九字虫)(频率 4)。前 14 种个体总数占全部活体有孔虫的 94%, 代表了天津市潮间带活体有孔虫的组成特征, 即有孔虫的生态结构特征。活体有孔虫直径 $0.1 \sim 0.4 \text{ mm}$, 但多

表 1 天津市潮滩活体及埋藏有孔虫分析
Table 1 Analytical data of living foraminiferal assemblage and foraminiferal taphocoenose in Tianjin intertidal zone

样品编号	P1	1-6	1-5	1-4	1-3	1-2	1-1	P2	2-7	2-6	2-5	2-4	2-3	2-1	P3	3-5	3-4	3-3	3-2
有孔虫丰度	活体	0	0	848	224	64	272	48	60	4	0	224	64	112	192	40	0	80	0
总数	4	15	495	9 440	8 512	14 944	7 926	1 768	624	840	3 808	30 656	10 816	2 760	6 496	9 040	7 080	6 640	6 360
有孔虫种属数量	活体	0	0	5	3	2	4	3	6	2	0	5	1	7	2	1	0	2	0
总数	2	10	35	32	35	39	38	21	31	38	45	45	37	33	17	28	22	26	28
分异度 H(S)	0.56	2.21	2.46	2.23	2.76	2.56	2.62	2.33	2.53	2.83	2.49	2.51	2.59	2.34	1.33	2.47	1.92	2.35	2.38
胶结壳/%	0	6.67	0.2	1.36	6.4	6.42	7.87	0	0	0	0.42	6.26	1.18	3.19	0	0.44	0	0.6	1.26
玻璃壳/%	100	66.66	75.16	74.23	43.97	44.12	44.88	71.5	75.32	51.91	47.06	47.18	77.22	47.53	96.06	87.18	98.8	91.82	
瓷质壳/%	0	26.67	24.64	24.41	49.63	49.46	47.25	28.5	24.68	48.09	52.52	46.56	21.60	49.28	3.94	12.38	0.6	6.92	
有孔虫现生率/%	0	0	0	56	17	3	2	47	44	14	0	22	19	37	73	20	38	46	0
沉积物平均粒径/mm	0.006 0	0.008 0	0.006 7	0.012 6	0.032 7	0.031 6		0.006 5	0.007 8	0.011 0	0.010 4	0.042	0.008 9		0.065 0	0.101 8	0.116 1	0.118 3	
样品编号	3-1	4-5	4-1	4-2	4-3	4-4	P5	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6	5-7	P6	6-6	6-5	6-4	6-3
有孔虫丰度	活体	200	0	16	64	0	448	21	98	236	184	288	80	80	896	832	0	448	64
总数	7 640	162	2 320	2 480	2 000	904	2 392	127	1 972	4 482	3 944	5 822	4 632	5 820	8 928	5 120	21 888	46 016	23 584
有孔虫种属数量	活体	3	0	1	2	0	7	8	8	17	6	8	4	5	3	3	0	2	1
总数	24	17	31	25	21	24	30	21	43	58	45	43	41	55	21	16	31	40	39
分异度 H(S)	2.14	1.3	2.67	2.33	2.35	2.65	2.04	2.49	2.54	2.78	2.91	2.7	2.7	2.84	1.06	1.98	1.83	2.28	2.13
胶结壳/%	0	0	0.69	3.23	6.4	0	0.33	2.36	2.32	5.67	2.63	4.68	2.24	2.19	0	0	0	0.7	3.26
玻璃壳/%	96.86	97.54	57.24	63.86	64.8	80.55	89.66	74.02	54.28	54.71	59.22	54.38	63.9	55.49	96.76	85	92.12	70.92	42.59
瓷质壳/%	3.14	2.46	42.07	32.91	28.8	19.45	10.01	23.63	43.4	39.62	38.15	40.94	33.86	42.32	3.24	15	7.88	28.38	54.15
有孔虫现生率/%	55	0	0	5	5	0	70	55	26	86	25	53	32	18	80	43	0	27	1
沉积物平均粒径/mm	0.116 8	0.009 2	0.025 8	0.040 9	0.053 8	0.012 4		0.006 2	0.005 7	0.006 5	0.006 2	0.009 5	0.011 4	0.007 7		0.013 0	0.013 8	0.023 4	0.010 4
样品编号	6-2	6-1	P7	7-8	7-7	7-6	7-5	7-4	7-3	7-2	7-1*	P8	8-8	8-7	8-6	8-5	8-4	8-3	8-2
有孔虫丰度	活体	512	0	48	18	64	640	256	32	288	192	576	976	384	256	96	256	544	832
总数	9 984	8 384	904	296	3 000	19 520	9 888	10 432	13 056	10 880	8 352	1 776	15 328	16 160	9 312	6 400	12 704	13 744	9 740
有孔虫种属数量	活体	1	0	3	1	1	6	2	1	4	2	6	6	4	2	6	6	4	7
总数	31	36	21	8	24	28	24	29	29	21	29	16	31	36	29	33	28	38	31
分异度 H(S)	2.22	2.36	1.82	0.7	2.28	2.08	2.22	1.92	1.76	1.81	2.3	1.27	1.87	2.09	2.23	2.4	1.81	2.19	2.56
胶结壳/%	1.92	3.82	0.88	0	0	2.62	1.29	3.38	6.88	2.94	7.28	0	0	0.4	0.3	5.5	3.27	4.67	9.52
玻璃壳/%	53.53	42.74	71.69	97.93	48.8	67.54	65.38	38.03	33.07	38.24	40.62	97.3	96.03	86.13	57.43	43	28.21	33.75	56.31
瓷质壳/%	44.55	53.44	27.43	2.03	51.2	29.84	33.33	58.59	60.05	58.82	52.1	2.7	3.97	13.47	42.27	51.5	68.52	61.58	34.17
有孔虫现生率/%	5	0	51	83	11	49	29	4	28	26	67	81	66	26	33	23	72	16	70
沉积物平均粒径/mm	0.007 8	0.007 9		0.007 1	0.007 8	0.009 5	0.013 6	0.009 7	0.008 6	0.007 9	0.007 4		0.007 9	0.009 2	0.008 7	0.009 0	0.009 2	0.012 7	0.016 6

集中于 0.20~0.25 mm。

对活体有孔虫组成进行聚类分析, 获得了详细的分带(图 2)。在平均大潮高潮位以下的站位若没有出现活体有孔虫, 认为是由于上文提到的偶然因素所导致, 因而忽略不计; 在平均大潮高潮位以上的 P1、1-6、1-5 可能是真正不存在活体有孔虫的站位, 被单独作为一个分带。另外, 4-2 仅见到 *A. maruhasii* 一个活个体、3-3 仅见到一个 *A. maruhasii* 和一个 *P. tuberculatum* 活个体, 而且这两个样品的活体有孔虫含量<1%, 考虑与周围样品的组合特征关系, 没有单独作为一个分带。根据聚类分析结果及组合特征可分为 7 个活体有孔虫群组合带(图 2、3、4)。

活体有孔虫群 I 带: 以 *Cribronion porisuturalis*(孔缝筛九字虫)-*Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Elphidium simplex* (简单希望虫) 为主的优势种组合带, *C. porisuturalis* 含量可达 60% 以上。主要分布在平均大潮高潮线附近的潮间带上部地带, 如站位 2-6、2-7, 与笔者在渤海湾南部老狼坨子一带潮间带分析结果一致^[19]。

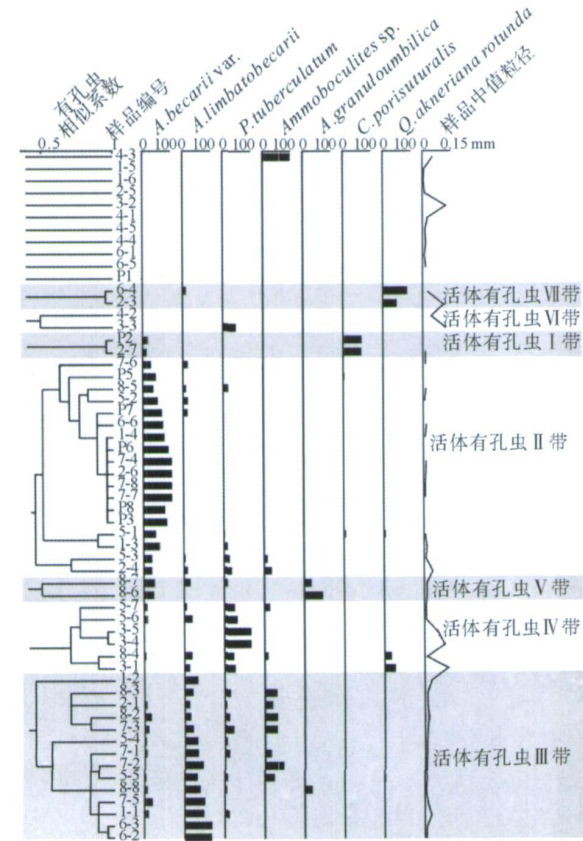


图 2 天津市潮滩活体有孔虫聚类分析与主要属种组成
Fig. 2 Cluster diagram of living foraminifera and abundance of dominant living foraminifera species of Tianjin intertidal zone

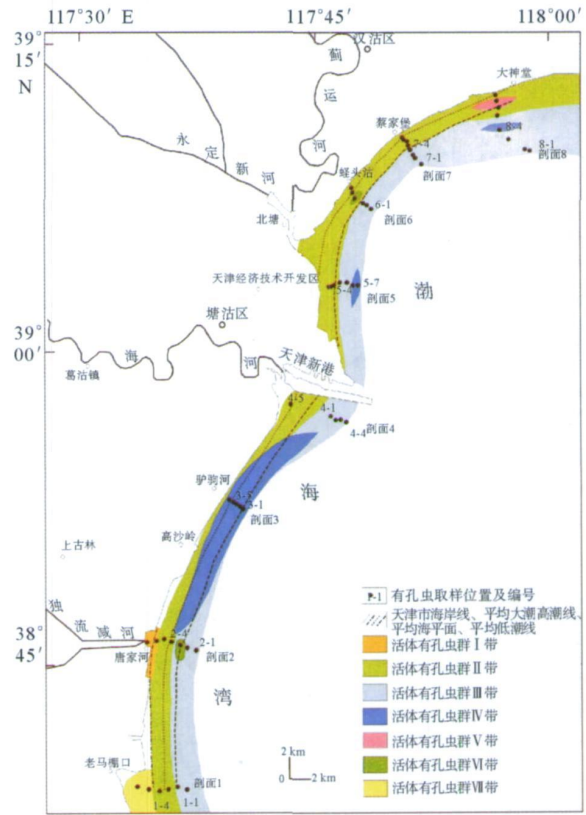


图 3 天津市潮间带活体有孔虫分布
Fig. 3 Distribution of living foraminiferal assemblages on Tianjin intertidal zone

活体有孔虫群 II 带: 以 *Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Elphidium simplex* (简单希望虫)-*Ammonia limbatobecarii* (凸镶边卷转虫) 为主的优势种组合带。前两种含量达 60% 以上。主要分布在平均低潮线以上的潮间带。

活体有孔虫群 III 带: 以 *Ammonia limbatobecarii* (凸镶边卷转虫)-*Protelphidium tuberculatum* (具瘤先希望虫) 为主的优势种组合带。前两种含量达 60% 以上。主要在平均低潮线以下的潮下带分布。

活体有孔虫群 IV 带: 以 *Protelphidium tuberculatum* (具瘤先希望虫)-*Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Ammonia limbatobecarii* (凸镶边卷转虫) 为主的组合带。 *P. tuberculatum* 占绝对优势, 含量达 60% 以上。主要在驴驹河砂质潮坪的剖面 3 分布。

活体有孔虫群 V 带: 以 *Ammonia granulumbilica* (粒脐卷转虫)-*Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种) 为主的优势种组合带, 主要分布在剖面 8 潮间带中部地带。

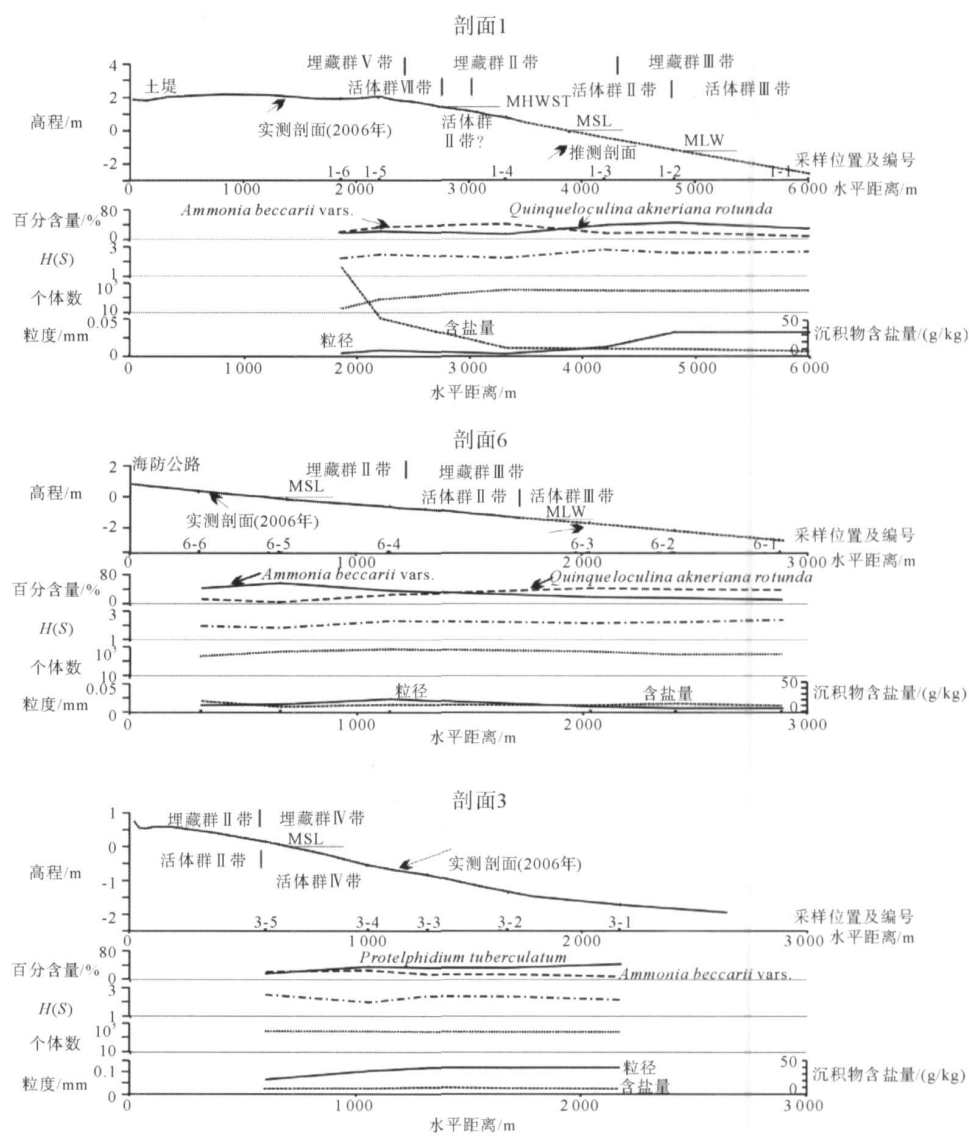


图 4 天津市潮滩不同有孔虫带的垂直分布与埋藏有孔虫个体数量、主要成分含量及沉积物粒径、含盐量的变化

Fig. 4 Vertical locations of different foraminiferal zones , showing changes of foraminiferal taphocoenose individual number, major species content and grain size and salinity of sediments

活体有孔虫群 VI 带: 以 *Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)-*Ammonia limbatobeccarii* (凸镶边卷转虫) 为主的优势种组合带, 仅在站位 6-4、2-3 见到。

活体有孔虫群 VII 带: 不含有活体有孔虫, 位于平均大潮高潮线之上的潮上带。

2.2.2 埋藏有孔虫群(活体+死体有孔虫)

所有鉴定样品中有孔虫共见 104 种, 但常见种即出现频率大于 30 次的有 25 种, 占种群总个体数量的 90%。前 14 种总数量占整个种群总数的 82%。按出现频率由高到低排序, 前 14 种有 *Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)(频率 57)、*Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块

虫)(频率 56)、*Ammonia limbatobeccarii* (凸镶边卷转虫)(频率 51)、*Elphidium magellanicum* (缝裂希望虫)(频率 50)、*Elphidium simplex* (简单希望虫)(频率 50)、*Ammonia granulumbilica* (粒脐卷转虫)(频率 49)、*Cribrononion incertum* (易变筛九子虫)(频率 47)、*Protelphidium tuberculatum* (具瘤先希望虫)(频率 43)、*Ammonia confertitesta* (厚壁卷转虫)(频率 42)、*Ammonia maruhasii* (丸桥卷转虫)(频率 42)、*Ammonia multicella* (多室卷转虫)(频率 42)、*Elphidium* sp. (希望虫未定种)(频率 42)、*Quinqueloculina seminula* (半缺五块虫)(频率 41)、*Cribrononion* spp. (筛九子虫)(频率 40), 代表了有孔虫的埋藏结构特征。可以看出, 约 50% 种属

与活体群出现频率较高的前 14 种一致,但排列顺序不同。说明埋藏有孔虫群与活体有孔虫群的分布特征有明显的差异。通过对天津市潮滩埋藏有孔虫群组成进行聚类分析,将其划分为 5 个组合带(图 4、5、6)。

埋藏有孔虫群 I 带:以 *Cribrononion porisuturalis* (孔缝筛九字虫)-*Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)为主的有孔虫优势种组合。这 3 种在整个有孔虫群中具有明显的优势,含量大于 60%。有孔虫复合分异度平均为 2.43,丰度低。有孔虫壳体直径以 0.15~0.2 mm 为主。主要分布在平均大潮高潮线附近的潮间带上部。与活体有孔虫群 I 带的组成及分布范围基本一致。

埋藏有孔虫 II 带:以 *Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)-*Elphidium simplex* (简单希望虫)-*Ammonia limbatobecarii* (凸镶边卷转虫)为主的有孔虫优势种组合。前两个种在有孔虫群中具有明显的优势,一般仅 *Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)一种含量可达 30% 以上,平均含量约 50%,以 *Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)为主的瓷质壳体含量小于 30%,平均约 18%。有孔虫复合分异度变化较大,平均 1.79,丰度高。有孔虫壳体直径一般大于 0.2 mm,多为 0.25~0.3 mm。主要分布在海平面 (MSL) 以上的潮间带中上部。与活体有孔虫群 II 带相比,组成成分明显增加了 *Q. akneriana rotunda* (圆形短五块虫),且成为第二优势种。

埋藏有孔虫 III 带:以 *Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)-*Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Protelphidium tuberculatum* (具瘤先希望虫)-*Ammonia limbatobecarii* (凸镶边卷转虫)为主的有孔虫优势种组合。前两个种在有孔虫群中具有明显的优势,一般以 *Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)为主的瓷质壳体含量可达 30%~50%,平均 44%。有孔虫简单分异度较大(2.3~2.9),平均 2.42,丰度高。有孔虫壳体直径以 0.15~0.2 mm 为主。主要分布在海平面 (MSL) 以下的潮间带中下部。与活体有孔虫群 III 带相比组成成分明显增加了 *Q. akneriana rotunda* (圆形短五块虫),且成为第一优势种。埋藏群 II、III 带与活体有孔虫群 II、III 分布类似,埋藏群 III 带更靠陆一些,但组合特征却存在明显的差异。

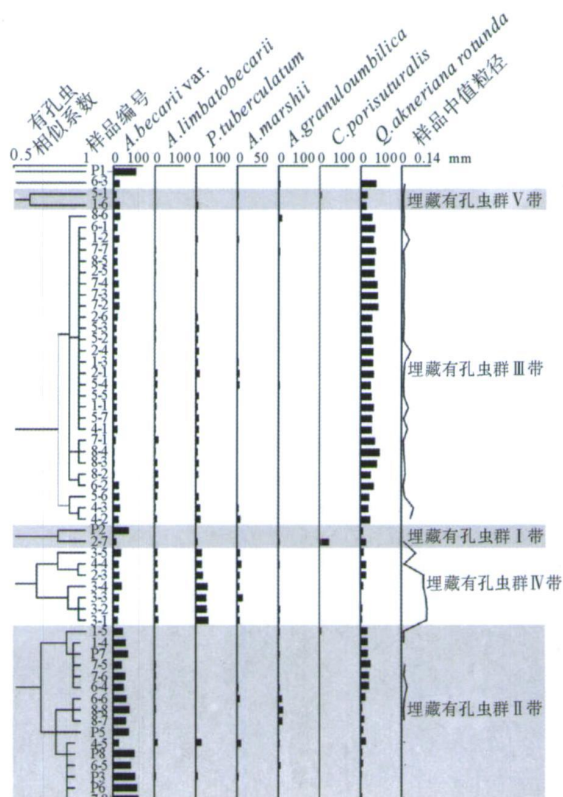


图 5 天津市潮滩埋藏有孔虫聚类分析与主要属种组成

Fig. 5 Cluster diagram of foraminiferal taphocoenose and component of major species in Tianjin intertidal zone

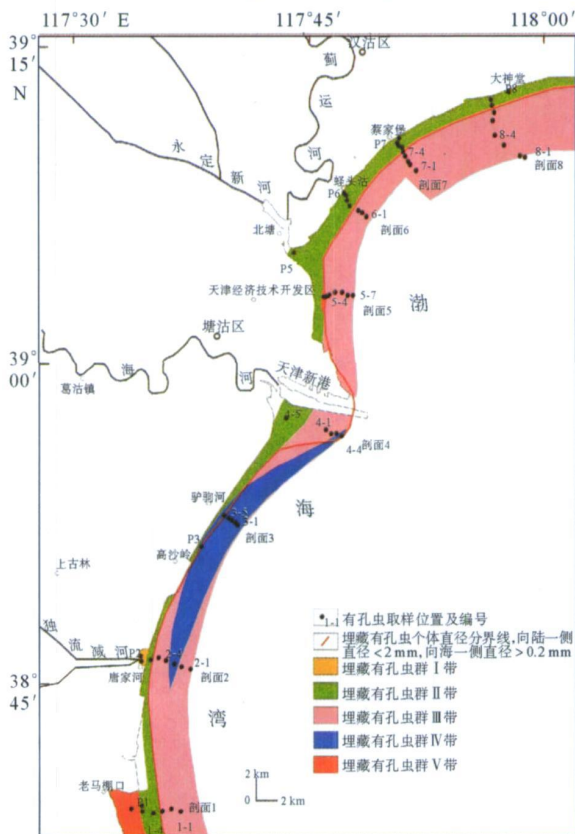


图 6 天津市潮间带埋藏有孔虫分布

Fig. 6 Distribution characteristics of foraminifera taphocoenose in Tianjin intertidal zone

埋藏有孔虫群 IV 带: 以 *Protelphidium tuberculatum* (具瘤先希望虫)-*Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Ammonia limbatobeccarii* (凸镶边卷转虫) 为主的优势种组合带。前两种含量大于 50%。有孔虫分异度约为 2.36, 丰度较高, 本群仅在驴驹河潮间带中下部及独流减河剖面站位 2-3 分布。有孔虫壳体直径以 0.15~0.2 mm 为主。与活体有孔虫群 IV 分布范围及组成基本一致。

埋藏有孔虫群 V 带: 以 *Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Cribrononion* spp. (筛九字虫类)-*Elphidium simplex* (简单希望虫)-*Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫) 为主的有孔虫优势种组合。有孔虫分异度 2.35, 丰度低, 站位 1-6 仅见到 15 个有孔虫个体。有孔虫壳体直径以 0.2~0.25 mm 为主。分布范围与活体有孔虫群 VII 相当。

3 讨论

3.1 有孔虫种群与生态环境及沉积环境的关系

3.1.1 活体有孔虫群与盐度的关系

经各点单次测量天津市潮间带水体盐度为 27~40, 变化较大, 活体有孔虫的分带与海水盐度无明显的相关性 (图 7), 这可能是由于一般在低潮时取样, 海水退去后潮间带蒸发作用使某一地点的海水盐度与该点的沉积物含盐量、海水退去的时间长短和残存水量的多少关系密切。沉积物含盐量越高,

随着该点出露水面时间的长短及水量的变化, 其水体含盐度变化较大。在某一地点测到的只是该地点的瞬间盐度值, 不同时间海水盐度值变化较大。考虑到潮间带有孔虫均为底栖有孔虫, 沉积物含盐量与该地点暴露在空气中的时间 (蒸发量) 无关, 可代表有孔虫生存的盐度指标, 甚至更接近底栖有孔虫的生态环境。因此, 进行了剖面 1、3、6 三个监测剖面的沉积样品的含盐量测试 (图 4), 含盐量的变化与活体有孔虫群的分带基本吻合 (图 4、7)。沉积物含盐量在粉砂淤泥质岸段的潮间带由陆向海呈降低的趋势, 在平均大潮高潮线之上最高 (站位 1-6), 可达 127 g/kg, 在靠近高潮线的上部地带 (如站位 6-6、1-5) 较高, 达 20~50 g/kg, 整个潮间带 10~20 g/kg, 平均低潮线以下的潮下带则为 7~15 g/kg。在砂质岸带则与泥质岸带潮下带近似, 为 7~10 g/kg。因此在粉砂淤泥质潮间带中、上部地带沉积物含盐量高, 随着水量的变化, 水体盐度可以有很大的变化, 生活在这里的有孔虫在每天的涨落潮时必须承受数倍的盐度变化, 具有更强的盐度适应性; 潮间带下部至潮下带则由于沉积物含盐量降低, 暴露时间短或无暴露, 水体盐度比较稳定。天津市潮间带活体有孔虫分布结果表明, *Cribrononion porisuturalis* (孔缝筛九字虫)、*Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)、*Elphidium simplex* (简单希望虫) 在含盐量 10~50 g/kg 的沉积物中均能生存, 可以生存的盐度范围较大, 特别是 *Cribrononion porisuturalis* (孔缝筛九字虫) 在大潮高潮线附近含量相对较高, 盐度变化更大, 而且可以在海水退去后

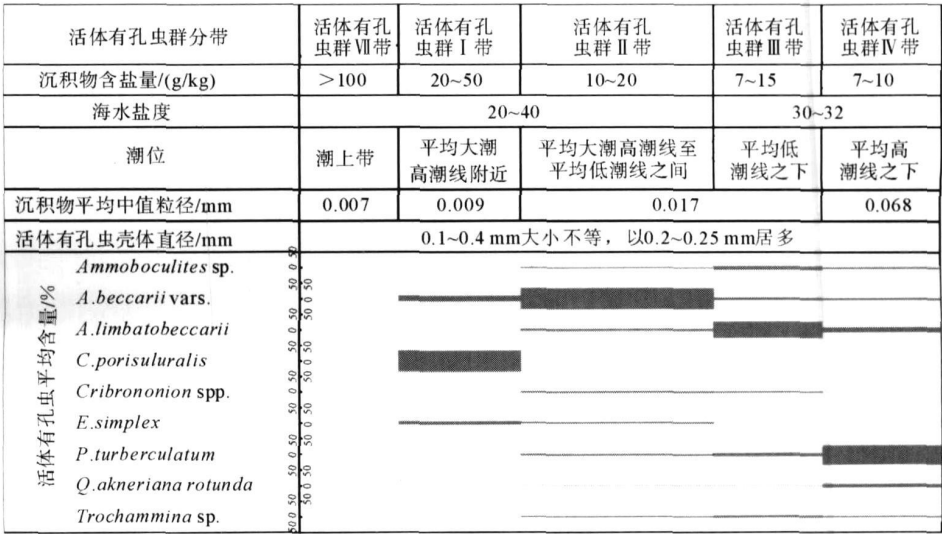


图 7 天津市潮滩活体有孔虫群各带的组成及与生态环境参数的关系

Fig. 7 Relation between living foraminiferal assemblage zones and ecological environment parameters

仅靠残存的水体和孔隙水即可生存。*Ammonia limbatobecarii*(凸镶边卷转虫)富集在含盐量 7~15 g/kg 的沉积物中;*Protelphidium tuberculatum*(具瘤先希望虫)仅在含盐量 7~10 g/kg 的沉积物中富集,对盐度适应范围较窄。因此,潮间带沉积物含盐量是潮间带活体有孔虫分布的主要控制因素。

3.1.2 活体及埋藏有孔虫群与潮位的关系

通过水准测量将各剖面的高程与国家 85 高程联网,根据天津市平均大潮潮差 2.48 m^[36],即可获得各剖面平均大潮高潮位、平均海平面、平均大潮低潮位等的理论位置(图 3、4)。显然,活体有孔虫群分带与潮位有极其密切的关系(图 2、3、4、7),平均大潮高潮线略高于活体有孔虫 I、II 界线,平均低潮线与活体有孔虫 II、III 界线基本一致,但活体有孔虫 IV 带的分布却与潮位无关,可能是受底质沉积物类型的影响,说明潮位对活体有孔虫群的分布、组合特征有一定的控制作用,但不是主控因素。潮间带沉积物中的盐分来源于海水,而潮位控制海水到达潮间带不同地点,即潮位对潮间带沉积物的含盐量具有控制作用。因此,潮位对潮间带活体有孔虫群分布是通过控制潮间带不同地点沉积物含盐量来实现的。

埋藏有孔虫群也具有明显的分带性,但除了埋藏群 I、IV 与活体有孔虫群 I、IV 组合特征一致外,其他分带组合特征及分带界线均不一致,其原因可能与盐度、潮位等环境因素无关,而与搬运作用有关。

3.1.3 活体及埋藏有孔虫种群与底质粒径的关系

天津市潮间带沉积物以细颗粒沉积物为主,多为黏土质粉砂,个别站位见到粉砂、砂质粉砂,仅驴驹河的剖面 3 为粗颗粒的砂质沉积。尽管沉积类型并不丰富,但仍能看出粒径对有孔虫群的影响。首先,在天津市海岸带无论活体群还是埋藏群均以玻璃质壳及瓷质壳为主,胶结壳极少,说明粉砂淤泥质底质更适于玻璃质壳及瓷质壳有孔虫的生存。第二,尽管活体有孔虫群的分带与沉积物的中值粒径平均值有较好的对应性(图 7),特别是活体有孔虫 IV 带,分布在天津市惟一的砂质底质中,平均中值粒径 0.068 mm, *Protelphidium tuberculatum*(具瘤先希望虫)为第一优势种,活体群与埋藏群组合特征相似,似乎不受其他因素的影响,表明底质类型对潮间带有孔虫的生存具有控制作用。但是,底质沉积物平均中值粒径相同的 II、III 带,II 带含有 *Elphidium simplex*(简单希望虫),并以 *Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)为优势种、III 带含

有 *Protelphidium tuberculatum*(具瘤先希望虫),并以 *Ammonia limbatobecarii*(凸镶边卷转虫)为优势种,显然,沉积物粒径对活体有孔虫群的作用并不是主要制约因素。第三,埋藏有孔虫群的分带与沉积物粒径具有很好的对应关系(图 8),表明了沉积动力对有孔虫的搬运分选作用。

3.2 有孔虫的搬运及沉积作用

活体有孔虫死亡后,将与其他沉积颗粒一起在潮汐、波浪等水动力的共同作用下被搬运和再沉积,在异地埋藏形成异地种有孔虫。将每个站位样品中出现的活体有孔虫种作为原生本地种,未出现的种认为是由于搬运造成的异地种。将每个站位本地种的个体数量占总个体数量的百分比称为现生率。现生率的大小与海洋物源的沉积物搬运能力成反比。统计结果显示现生率与埋藏群分带及潮位有较好的相关性(图 8),仅在 5-3、7-7、8-5 三个站位例外。所有鉴定的样品现生率最小为 0、最大为 83%(图 8),平均现生率在埋藏群 I、II 带明显高于 III、IV 带,说明前者受沉积物搬运作用影响较小,造成埋藏群 I、II 带有孔虫组合中受异地种影响较 III、IV 带小。另外,埋藏有孔虫群的分带与沉积物粒径具有很好的对应关系,沉积粒径由海向陆逐渐变小(驴驹河剖面 3 例外),表明了沉积动力逐渐减小,相应的搬运作用减弱,造成埋藏有孔虫群在向海一侧的 III 带的有孔虫现生率低于向陆一侧的 I、II 带。因此,搬运作用对有孔虫埋藏群的分布特征有明显的影响(图 8)。

活体 *Quinqueloculina akneriana rotunda*(圆形短五块虫)仅在 9 个站位(多位于潮下带,如 8-2、8-3、8-7、7-1)出现,平均含量在活体有孔虫 IV 带约 10%,其他各带不足 1%;而它的埋藏个体却几乎出现在所有站位,平均含量在埋藏群各带中大于 10%,最高可达 45%;因此,可以将 *Q. akneriana rotunda*(圆形短五块虫)作为整个潮间带异地种的标志种,这可能与本种为瓷质壳,壳体较坚硬,在搬运过程中抗磨蚀有关。搬运作用在埋藏群 III 带表现较为强烈,致使埋藏群 III 与活体群 III 组合特征完全不一致,来源于异地(潮下带浅海区)的 *Q. akneriana rotunda*(圆形短五块虫)占据了主导地位,成为了第一优势种,完全改变了代表生态群的活体有孔虫组合特征,形成了异地埋藏结构为主的有孔虫埋藏群;埋藏群 II 受到海洋物源的影响较弱,组合特征上仍以原生本地种 *A. beccarii* vars. 为第一优势种,增加了来源于异地(浅海区)的 *Q. akneriana*

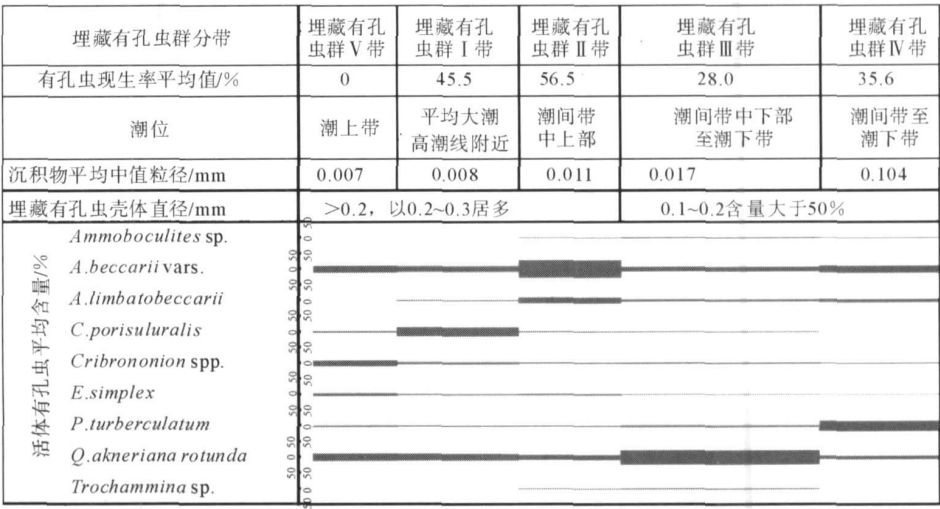


图 8 天津市潮滩埋藏有孔虫群的组成及与各种环境指标的关系

Fig. 8 Relation between foraminifera taphocoenose and sedimentary environment parameters of Tianjie intertidal zone

rotunda(圆形短五块虫), 构成原地埋藏为主混有异地埋藏种的结构特征; 埋藏群 I 受到海洋物源的影响较小, 虽然组分中也增加了异地种 *Q. akneriana rotunda*(圆形短五块虫), 但仍以原地埋藏的 *C. porisuturalis*、*A. beccarii* vars. 为主要特征, 并没有改变其生态结构特征; 埋藏群 V 现生率为 0, 即无活体有孔虫生存, 完全靠潮汐作用及偶发的风暴潮事件将浅海及潮间带的有孔虫及泥沙沉积物搬运至此, 形成再沉积, 构成典型的埋藏结构。因此, 搬运作用对浅海区及潮间带直至潮上带均有影响, 不仅影响了潮间带有孔虫埋藏群的组合特征、改变了结构特征, 而且增加了有孔虫的丰度。强烈的搬运作用甚至将一些较深水种如 *Lagena* spp. (瓶虫类)、*A. pauciloculata*(少室卷转虫)等带至潮间带沉积, 造成埋藏群种属、数量远远大于活体有孔虫。

王福^①、孟伟等^[37]、杜瑞芝^[38] 利用²¹⁰Pb、¹³⁷Cs 方法对天津市潮间带现代沉积速率进行了测量, 将这些数据与埋藏有孔虫的数量对比, 发现二者呈反相关系(仅²¹⁰Pb-11、12 例外)(图 1、表 2), 现代沉积速率高于 1 cm/a 的区域埋藏有孔虫数量最少, 一般少于 98 个/cm³, 沉积速率 0.5~1 cm/a 的区域埋藏有孔虫密度为 98~392 个/cm³, 沉积速率<0.5 cm/a 的区域埋藏有孔虫密度为大于 392 个/cm³。显然, 埋藏有孔虫的数量与沉积作用密切相关。强烈的沉积作用对沉积物中的埋藏有孔虫数量起到“稀释”作用, 降低了有孔虫的密度。蓟运河以南的地区分布着海河、独流减河、永定新河等入海河口, 而且处于南、北沿岸流混合带, 能量降低^[39], 沉积作用较强, 造成在蓟运河口以南的潮间带沉积速率高、埋藏有孔虫密度低的纵向(平行于岸线)分布特征;

表 2 天津市潮滩埋藏有孔虫数量分区与现代沉积速率数据对比

Table 2 Comparison of number distribution of foraminiferal taphocoenose specimens and modern sedimentation rates of Tianjin intertidal zone

样品编号	²¹⁰ Pb-2	²¹⁰ Pb-3	²¹⁰ Pb-4	²¹⁰ Pb-1	²¹⁰ Pb-9	²¹⁰ Pb-6	C4	C3	851	852
沉积速率/(cm/a)	最大为 3.58, 最小为 1.12, 一般为 1~2						1.82	1.59	2.1	4.4
有孔虫个体数量(个) 密度(个/cm ³)及分区	I 区,< 2 000 98									
样品编号	C1	²¹⁰ Pb-10	²¹⁰ Pb-11	²¹⁰ Pb-12	²¹⁰ Pb-7	CH 81	CH 80			
沉积速率/(cm/a)	0.65	< 1			< 0.5					
有孔虫个体数量/个 密度/(个/cm ³)	II 区, 2 000~8 000 98~392				III 区,> 8 000 392					

注: 编号为²¹⁰Pb 系列数据引自文献^①, 编号 C 系列数据引自文献^[37], 数字编号系列引自文献^[38]。

① 王宏, 裴艳东, 等. 我国近海海洋综合调查与评价专项(908 专项)天津市海岸带调查报告. 2007, 84-85.

潮流作用从潮滩下部向上部降低,造成沉积作用由下向上增强、埋藏有孔虫密度由下向上降低的横向(垂直岸线)分布特征。尽管沉积物中有孔虫密度可能受物源供应、水动力等的影响,埋藏有孔虫数量与沉积作用的定量关系有待进一步研究,但二者之间的反向相关可以为古沉积环境及沉积作用,特别是古河口及物源供应量的研究提供定性依据。

4 结语

天津市潮间带地区活体有孔虫群和埋藏有孔虫群均有明显的分带性,但由于搬运作用造成了二者分带及组合特征的不一致,使埋藏群种属增多,由活体群的 14 属 32 种增长至埋藏群的 40 属 104 种,埋藏群中原生本地种仅占 31%,使埋藏群丰度增加。搬运作用使埋藏群结构组成发生了质的变化,可能从原来的生态型结构改变成生态-埋藏混合型结构,由陆向海具体表现为:平均大潮高潮线以上的潮上带,完全受搬运作用控制,表现为埋藏群结构特征,以 *Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Cribrononion* spp. (筛九字虫类)-*Elphidium simplex* (简单希望虫)-*Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)为主的有孔虫优势种组合;潮间带上部的平均大潮高潮线附近,受搬运作用影响较小,埋藏群以生态型结构为主结构,以 *Cribrononion porisuturalis* (孔缝筛九字虫)-*Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)-*Elphidium simplex* (简单希望虫)为有孔虫优势种组合;潮间带中上部变为生态-埋藏混合型结构,以 *Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)-*Ammonia limbatobeccarii* (凸镶边卷转虫)-*Elphidium simplex* (简单希望虫)为有孔虫优势种组合;在潮间带中下部,完全改变了生态结构,变为埋藏型结构为主,以 *Quinqueloculina akneriana rotunda* (圆形短五块虫)-*Ammonia beccarii* vars. (毕克卷转虫变种)-*Protephidium tuberculatum* (具瘤先希望虫)-*Ammonia limbatobeccarii* (凸镶边卷转虫)为有孔虫优势种组合。另外,有孔虫丰度(数量),从陆向海由潮上带数个至数十个有孔虫个体增加到平均大潮高潮线附近的数百个个体,到潮间带则增至千万个个体,在古环境分析时应予注意。

活体有孔虫群与盐度、潮位及沉积粒径的关系,反映了有孔虫群发育的生态环境特征,研究表明天

津市潮间带沉积物含盐量是活体有孔虫的主要控制因素,底质组成具有一定的影响,潮位对活体有孔虫的影响是通过控制沉积物含盐量来实现的;而埋藏有孔虫群与沉积粒径及潮位的关系,除了提供生态环境信息外,更多提供了长期的沉积环境及沉积动力信息。尽管潮间带沉积过程受到潮滩坡度、潮汐特征、沿岸流、物源等诸多因素影响,难于建立有孔虫群与搬运沉积的定量关系;但是,沉积作用强度与埋藏有孔虫数量(密度)的负相关关系,对于古河口等沉积作用强烈的环境判断仍然提供了重要依据。在实际运用中,由于人们往往难于准确区别原地埋藏与异地埋藏的有孔虫,因此,现代潮滩埋藏有孔虫群相对于活体有孔虫群在地层中可能有更重要的沉积环境指示意义。所以,除了关注潮间带有孔虫群的生态环境意义外,还要了解它的沉积环境意义。

致谢:参加野外调查取样的还有中国地质调查局天津地调中心的范昌福、田立柱等,粒度分析在南京大学海岸带与海岛开发教育部重点实验室、由中国地质调查局天津地调中心的商志文协助完成,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献(References)

- [1] Scott D B, Medioli F S. Vertical zonation of marsh foraminifera as accurate indicators of former sea levels [J]. *Nature*, 1978, 272 (5653): 528-531.
- [2] 汪品先, 闵秋宝, 卞云华, 等. 东海表层沉积物中有孔虫、介形虫组合的初步研究 [J]. 同济大学学报, 1979 (2): 90-108. [WANG Pinxian, MIN Qiubao, BIAN Yunhua. A preliminary study of foraminiferal and ostracod assemblages distribution in bottom sediments of the East China Sea [J]. *Journal of Tongji University (natural science)*, 1979 (2): 90-108.]
- [3] Scott D B, Medioli F S. Quantitative studies of marsh foraminiferal distributions in Nova Scotia; Implications for sea level studies [J]. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, 1980, 17: 58.
- [4] 洪雪晴. 东、黄海沿岸滨海沼泽现代有孔虫分布及其地质意义 [C] // 中国第四纪海岸线学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 1985: 66-75. [HONG Xueqing. The distribution of recent foraminifera in the marshes along the coasts of the Huanghai Sea and the East China Sea and its geological significance [C] // *Proceedings of Quaternary Coastline Symposium, China*. Beijing: China Ocean Press, 1985: 66-75.]
- [5] Scott D B, Medioli F S. Foraminifera as sea-level indicators [C] // *Sea-level Research: A Manual for the Collection and Evaluation of Data*. Geo Books, 1986: 435-456.
- [6] 成鑫荣. 长江口表层沉积物中活有孔虫的初步研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(1): 73-79. [CHENG Xinrong. A

- preliminary study of distribution of living foraminifers in surface sediments of the Changjiang River estuary [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1987, 7(1): 73-79.]
- [7] Williams H F L. Foraminiferal zonation on the Fraser River delta and their application to paleoenvironmental interpretations [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1989, 73: 39-50.
- [8] Scott D B, Leckie M R. Foraminiferal zonation of Great Sippewissett Salt Marsh (Falmouth, Massachusetts) [J]. Journal of Foraminiferal Research, 1990, 20: 248-266.
- [9] 赵泉鸿, 卞云华, 汪品先. 上海芦潮港海岸带有孔虫种群动态与埋藏群的形成[J]. 微体古生物学报, 1992, 9(4): 349-362. [ZHAO Quanhong, BIAN Yunhua, WANG Pinxian. Population dynamics and thanatocoenose formation of recent littoral foraminifera from Luchaogang, Shanghai [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1992, 9(4): 349-362.]
- [10] Scott D B, Hsasegawa S, Saito T, et al. Marsh foraminiferal and vegetation distribution in Nemuro Bay wetland areas, eastern Hokkaido [J]. Transactions and Proceedings of the Paleontological Society of Japan, 1995, 180: 282-295.
- [11] Scott D B, Collins E S, Duggan J, et al. Pacific rim marsh foraminiferal distributions: implications for sea-level study [J]. Journal of Coastal Research, 1996, 12(4): 850-861.
- [12] Hayward B W, Grenfell H R, Cairns G, et al. Environmental controls on benthic foraminiferal and thecamoebian associations in a New Zealand tidal inlet [J]. Journal of Foraminiferal Research, 1996, 26: 150-171.
- [13] Ozarko D L, Patterson R T, Williams H F L, et al. Marsh foraminifera from Nanaimo, British Columbia: infaunal habitat and taphonomic implications [J]. Journal of Foraminiferal Research, 1997, 27: 51-68.
- [14] 朱晓东, 施丙文, 葛晨东, 等. 苏北辐射沙洲沿岸有孔虫埋藏群特征及其与环境的关系[J]. 古生物学报, 1998, 37(4): 503-512. [ZHU Xiaodong, SHI Bingwen, GE Chendong, et al. Foraminiferal taphocoenoses in the coastal area of north Jiangsu banks and their relations with environment [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1998, 37(4): 503-512.]
- [15] 朱晓东, 葛晨东, 蒋松柳, 等. 江苏中南部潮滩有孔虫特征及其与环境的关系[J]. 海洋学报, 1998, 20(5): 75-82. [ZHU Xiaodong, GE Chendong, JIANG Songliu, et al. Foraminifera in tidal flats along Jiangsu middle-south coast and their relations with environment [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1998, 20(5): 75-82.]
- [16] 陈一宁, 朱晓东. 苏北海岸带有孔虫 *Ammonia beccarii* 微环境分布的初步研究[J]. 微体古生物学报, 2004, 21(1): 58-63. [CHEN Yining, ZHU Xiaodong. Spatial distribution patterns of foraminifera *Ammonia beccarii* in the micro-environment of Jiangsu coastal zone [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2004, 21(1): 58-63.]
- [17] Hayward B W, Grenfell H R, Scott D B. Tidal range of marsh foraminifera for determining former sea-level heights in New Zealand [J]. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 1999, 42: 395-413.
- [18] Murray J W, Alve E. Taphonomic experiments on marginal marine foraminiferal assemblages: how much ecological information is preserved? [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1999, 149: 183-198.
- [19] 李建芬. 渤海湾西岸老狼坨子现代潮坪有孔虫群的分布及地质意义[C]//前寒武纪第四纪地质文集. 北京: 地质出版社, 2002: 195-204. [LI Jianfen. Distribution and geological significance of the living foraminiferal assemblages on the modern tidal flat, Laolangtuozi, west coast of Bohai Bay [C]//Proceeding of Precambrian Geology and Quaternary Geology. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 195-204.]
- [20] 尤坤元, 陈才俊, 吴小根, 等. 我国苏北建川潮汐沼泽有孔虫垂直分带的发现和特征[J]. 海洋学报, 2002, 24(1): 59-64. [YOU Kunyuan, CHEN Caijun, WU Xiaogen. Discovery and features of vertical zonation of tidal salt marsh foraminifera in Jianchuan, North Jiangsu Province, China [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2002, 24(1): 59-64.]
- [21] Barbosa C F, Scott D B, Seoane J C S. Foraminiferal zonation as base lines for Quaternary sea-level fluctuations in south-southeast Brazilian mangroves and marshes [J]. Journal of Foraminiferal Research, 2005, 35(1): 22-43.
- [22] Robinson M M, McBride R A. Benthic foraminifera from a relict flood tidal delta along the Virginia/North Carolina Outer Banks [J]. Micropaleontology, 2006, 52(1): 67-80.
- [23] Jeremy M L. Modern distribution of benthic foraminifera from Diskobugt, west Greenland [J]. The Journal of Foraminiferal Research, 2006, 36(4): 315-331.
- [24] 陈荣华. 浙江海岸带表层沉积物中有孔虫的分布及其影响因素[J]. 东海地质, 1990, 8(3): 35-44. [CHEN Ronghua. Distribution of foraminifera in surface sediments of the coastal zone of Zhejiang Province and its influencing factors [J]. Donghai Marine Science, 1990, 8(3): 35-44.]
- [25] 朱晓东, 施丙文, 尤坤元, 等. 海州湾有孔虫埋葬群及其与沉积环境的关系[J]. 地理科学, 1998, 18(2): 147-155. [ZHU Xiaodong, SHI Bingwen, YOU Kunyuan, et al. Foraminiferal taphocoenose in haizhou bay, Jiangsu (China) and its relationship to sedimentary environment [J]. Scientia Geographica Sinica, 1998, 18(2): 147-155.]
- [26] 朱晓东, 任美镔, 王颖. 江苏海岸带沉积环境中的有孔虫埋葬群特征[J]. 海洋科学, 1997(2): 52-55. [ZHU Xiaodong, REN Meie, WANG Yin. Characteristics of foraminiferal taphocoenoses in the Jiangsu coastal sediments [J]. Marine Science, 1997(2): 52-55.]
- [27] 汪品先, 闵秋宝, 卞云华, 等. 河口有孔虫的搬运及其古环境意义(I) [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1986, 6(2): 53-65. [WANG Pinxian, MIN Qiubao, BIAN Yunhua, et al. Transport of foraminiferal tests in estuaries and its paleoenvironmental implications (I) [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1986, 6(2): 53-65.]
- [28] 汪品先, 闵秋宝, 卞云华, 等. 河口有孔虫的搬运及其古环境意义(II) [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1986, 6(3): 83-90. [WANG Pinxian, MIN Qiubao, BIAN Yunhua. Transport of foraminiferal tests in estuaries and its paleoenvironmental

- implications (II) [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1986, 6(3): 83-90.]
- [29] 朱晓东, 施晓冬, 潘少明. 影响沉积物中有孔虫丰度的死态因素探讨[J]. *南京大学学报*, 1996, 32(4): 664-673. [ZHU Xiaodong, SHI Xiaodong, PAN Shaoming. Postmortemological factors responsible for foraminifera abundance in sediment [J]. *Journal of Nanjing University*, 1996, 32(4): 664-673.]
- [30] 王绍鸿, 俞鸣同, 唐丽玉, 等. 福建深沪湾潮间带全新世有孔虫及其环境意义[J]. *台湾海峡*, 2002, 21(1): 6-11. [WANG Shaohong, YU Mingtong, TANG Liyu, et al. Holocene foraminifera and its environmental significance in Shenhui Bay, Fujian [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2002, 21(1): 6-11.]
- [31] 李淑鸾. 珠江口底质中有孔虫埋葬群的分布规律[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1985, 5(2): 83-101. [LI Shuluan. Distribution of the foraminiferal taphocoenosis of Pearl River estuary[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1985, 5(2): 83-101.]
- [32] 李元芳, 何希贤. 渤海湾北岸表层沉积中的有孔虫群及其生态环境[J]. *地理研究*, 1983, 2(1): 65-73. [LI Yuanfang, HE Xixian. Preliminary study on foraminifera in surface layer of sediments along the north coast of the Bohai Bay and its habitat[J]. *Geographical Research*, 1983, 2(1): 65-73.]
- [33] 李元芳. 海河和蓟运河近海段有孔虫埋藏群及其古地理意义[J]. *微体古生物学报*, 1986, 8(8): 251-259. [LI Yuanfang. Taphonomic foraminiferal communities in the reaches of Haihe River and Jiyunhe River near the sea and its palaeogeographic significance [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 1986, 8(8): 251-259.]
- [34] Murray J W. Population dynamics of benthic foraminifera: results from the Exe estuary, England[J]. *Journal of Foraminiferal Research*, 1986, 13(1): 1-12.
- [35] Buzas M A. Foraminiferal densities and environmental variables: use of statistical models to examine estuarine environment[J]. *AAPG Bull.*, 1969, 53(3): 710.
- [36] 赵明才, 高贵绪, 何维焕. 天津新港地面下沉及海平面上升引起强潮频率增加[C]//海平面上升对中国沿海主要脆弱区的影响及对策. 北京: 海洋出版社, 1997: 66-75. [ZHAO Mingcai, GAO Guixu, HE Weihuan. The increase in strong tide frequency due to the sink of the ground and sea level rise in Xingang harbor of Tianjin[C]// The impacts of sea level rise on the major vulnerable areas of the China's coastal zone and relevant strategies. Beijing: China Ocean Press, 1997: 66-75.]
- [37] MENG Wei, LEI Kun. Modern sedimentation rates in the intertidal zone on the west coast of the Bohai Gulf [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 24(3): 46-53.
- [38] 杜瑞芝, 刘国贤. 渤海湾现代沉积速率和沉积过程[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1990, 10(3): 15-22. [DU Ruizhi, LIU Guoxian. Modern sedimentation rate and sedimentation process in Bohai Bay [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1990, 10(3): 15-22.]
- [39] 李建芬, 康慧, 王宏, 等. 渤海湾西岸海岸带现代地质作用及影响因素分析[J]. *地质调查与研究*, 2007, 30(4): 295-301. [LI Jianfen, KANG Hui, WANG Hong. Modern geological action and discussion of influence factors on the west coast bay, China [J]. *Geological Survey and Research*, 2007, 30(4): 295-301.]

DISTRIBUTION AND ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE OF LIVING FORAMINIFERAL ASSEMBLAGES AND TAPHOCOENOSE IN TIANJIN INTERTIDAL ZONE, THE WEST COAST OF BOHAI BAY

LI Jianfen^{1, 2}, PEI Yandong², WANG Fu², WANG Hong²

(1 School of Marine Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2 Tianjin Center, CGS, Tianjin 300170, China)

Abstract: 57 surface sedimentary samples taken along 8 profiles perpendicular to the coastline in the intertidal zone of Tianjin area were studied for their significance of living and taphocoenose foraminifera assemblages, grain size, and salinity. Also the profiles were leveled and the seawater salinity was measured. Based on these data, the authors studied characteristics of foraminiferal assemblage component, quantity and diversity. The living foraminiferal assemblages in the tidal flat of Tianjin area were divided into 7 zones, while the foraminiferal taphocoenose (living & dead) has shown 5 zones by clustering analysis. The characters and borderlines were different in the living and buried foraminifera except in zones I and IV. The authors discussed the relation between living foraminiferal assemblages and ecological environmental factors (such as salinity of sediments, seawater salinity, tidal level and sediment composition) of the 5 zones, indicated dominant elements for living foraminiferal assemblages, probed the relation between foraminiferal taphocoenose and sedimentary environmental parameters such as tidal level, grain size of sediment and modern sedimentation rate, and studied transport and sedimentary process of foraminiferal taphocoenose. Finally, the authors gave the environmental and geological significance from the living foraminiferal assemblages and foraminiferal taphocoenose in Tianjin coastal zones.

Key words: tidal flat; living foraminiferal assemblage; foraminiferal taphocoenose; ecological environment; sedimentary environment; Tianjin