

深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕 (*Namalycastis abiuma*) 的生态分布及气候响应

傅素晶¹, 蔡立哲^{1,*}, 梁俊彦¹, 周细平¹, 林和山¹, 黄 昆¹, 徐华林^{1,2}

(1. 厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005; 2. 广东内伶仃福田国家级自然保护区, 深圳 518040)

摘要: 根据 2004 年 1 月至 2007 年 12 月在深圳湾福田红树林湿地 3 条断面 10 个取样站进行大型底栖动物 14 个季度监测获得的溪沙蚕 [*Namalycastis abiuma* (Müller)] 密度和生物量数据, 阐述了溪沙蚕数量的年际变化、季节变化和空间分布, 分析了溪沙蚕栖息密度、生物量与部分环境因子的关系。结果表明, 深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕密度和生物量的年均值大小顺序均是: 2005 年 > 2006 年 > 2007 年 > 2004 年。溪沙蚕密度的季节均值大小顺序是: 夏季 > 春季 > 冬季 > 秋季; 而溪沙蚕生物量的季节均值大小顺序是: 春季 > 夏季 > 冬季 > 秋季。深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕的空间分布很不均匀, 不同断面或取样站之间数量差别很大, 有红树林的取样站溪沙蚕密度高, 没有红树林的取样站溪沙蚕密度很低。相关分析表明, 溪沙蚕密度和生物量与沉积物中的总有机质、中值粒径、硫化物等参数没有显著相关关系。溪沙蚕 2004 年的年平均密度和生物量为最低值, 2005 年到 2007 年逐年下降, 与降雨量的减少趋势是一致的, 但溪沙蚕的密度、生物量与降雨量、气温、光照时数、相对湿度均没有显著相关。可见, 红树林湿地是溪沙蚕喜好栖息的生境, 溪沙蚕对降雨量等气候因子的响应不显著。

关键词: 溪沙蚕; 红树林湿地; 时空分布; 气候响应; 深圳湾

文章编号: 1000-0933(2009)09-4781-09 中图分类号: Q143, Q178, Q958 文献标识码: A

The spatial-temporal distribution of *Namalycastis abiuma* in the Futian mangrove wetland of Shenzhen Bay as well as its relationship to climate response

FU Su-Jing¹, CAI Li-Zhe^{1,*}, LIANG Jun-Yan¹, ZHOU Xi-Ping¹, LIN He-Shan¹, HUANG Kun¹, XU Hua-Lin^{1,2}

¹ Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China

² Guangdong Neilingding Futian National Nature Reserve, Shenzhen 518040, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4781 ~ 4789.

Abstract: The seasonal and annual population dynamics of *Namalycastis abiuma*, as well as its spatial distribution, were studied in the Futian mangrove wetland of Shenzhen Bay from January 2004 to December 2007. The monitoring of density and biomass took place at ten sampling stations of three transects. The relationship between *N. abiuma* quantity and environmental factors was analyzed. The highest annual averages of both density and biomass of *N. abiuma* in the wetland were recorded in 2005, the second in 2006 and the third in 2007. The lowest annual average occurred in 2004. The highest seasonal average of the distribution density of *N. abiuma* was in summer and the lowest in autumn, while the highest biomass was in spring and the lowest in autumn. The spatial distribution of *N. abiuma* was uneven. High density of *N. abiuma* was found in the mangrove area and low density was found in the non-mangrove area. There was no obvious relationship between the density and biomass of *N. abiuma* and environmental factors, such as total organic matter, grain size, sulfide abundance, and other factors in the sediment. The lowest annual average of rainfall was in 2004 and decreased annually from 2005 to 2007, which coincided with the annual changes of both density and biomass of *N. abiuma*. However,

基金项目: 中国科技部资助项目 (2006FY-220700); 广东内伶仃福田国家级自然保护区管理局资助项目

收稿日期: 2008-05-08; **修订日期:** 2009-03-02

致谢: 感谢福田·城大红树林研发中心杨琼博士提供《福田红树林湿地水质监测分析报告》(2007 年 11 月); 感谢王雯、杨洁等研究生参与采样

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cailizhe@xmu.edu.cn

there was no direct relationship between the density and biomass of *N. abiuma* and other environmental factors, such as rainfall, air temperature, illumination time, and relative humidity. In conclusion, *N. abiuma* preferred the mangrove wetland habitat compared to the non-mangrove area and its response to rainfall and other climate factors mentioned above was not significant.

Key Words: *Namalycastis abiuma*; mangrove wetland; spatial-temporal distribution; climate response; Shenzhen Bay

溪沙蚕(*Namalycastis abiuma*)属于多毛纲沙蚕目沙蚕科,该种名曾被中译名为缘目沙蚕或单叶沙蚕,体长 67~110 mm,体宽(含疣足)5 mm,具 127~190 个刚节,为亚热带和热带分布很广的淡水和咸淡水种,分布于东海、南海,也分布于印度-太平洋河口、红树林泥滩区,常拣食地面的碎屑或捕食微小动物,行穴居生活,常被采捕做为活钓饵之用^[1,2]。国外对溪沙蚕分类学^[3]、摄食行为^[4]、地理分布^[5,6]等有相关报道,近两年在厦门污水处理厂生物滤池中发现大量溪沙蚕^[7]。

福田红树林湿地位于深圳湾东北岸,对维持地区的生态平衡起着重要作用,是重要的鸟类和底栖动物栖息地,也是良好的科学研究基地。厦门大学海洋与环境学院与广东内伶仃福田国家级自然保护区管理局合作,自 1994 年以来,连续对深圳湾福田红树林湿地进行底栖动物监测。1994 年至 2001 年间,主要对深圳湾福田红树林保护区观鸟屋(A 断面)和香港米埔泥滩的 B 断面和 C 断面进行了底栖动物监测^[8~12],在此期间,发现深圳湾潮间带沉积物颗粒细,富含有机质,栖息着一些高密度的多毛类,如大个体的羽须鳃沙蚕(*Dendroneris pinnaticirris*)、腺带刺沙蚕(*Neanthes glandicincta*)和尖刺缨虫(*Potamilla acuminata*),但密度更高的是小个体的小头虫(*Capitella capitata*)、独毛虫(*Tharyx* sp.)和寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)^[9,10]。2002 年在深圳湾福田红树林湿地的底栖动物监测范围扩展到凤塘河口两侧的 D 断面和 E 断面,即该年度进行 A、D 和 E 3 条断面 4 个季度的底栖动物监测,发现溪沙蚕的数量并不多^[13]。本文根据 2004 年以来在深圳湾福田红树林湿地 A、H 和 F 3 条断面获得的溪沙蚕的数量及相应环境因子数据,分析了溪沙蚕的生态分布及环境效应,为研究溪沙蚕的耐污机理提供一些生态学依据。

1 材料与方法

2004 年 1 月至 2008 年 1 月,对深圳湾福田红树林湿地 3 条断面 10 个取样站(图 1)进行大型底栖动物季度监测。3 条断面分别是 A、H 和 F,A 断面在福田保护区观鸟屋附近,包括 A1(114°00.132'E,22°31.499'N)、A2(114°00.126'E,22°31.598'N)、A3(114°00.146'E,22°31.677'N)和 A4(114°00.104'E,22°31.677'N)4 个取样站,A1 取样站靠近深圳湾的航道,A2 取样站与 A1 取样站相邻,均位于光滩,A3 取样站在红树林与光滩交界线处,A4 位于红树林内,最靠近陆地;H 断面位于凤塘河口附近,包括 H1(114°01.098'E,22°31.112'N)、H2(114°01.112'E,22°31.179'N)和 H3(114°01.129'E,22°31.257'N)3 个取样站,H1 取样站最靠近深圳湾航道,H3 取样站靠近凤塘河口,H2 取样站位于 H1 和 H3 取样站之间,3 个取样站均位于光滩;F 断面位于沙嘴码头附近,包括 F1(114°01.834'E,22°30.581'N)、F2(114°01.835'E,22°30.581'N)和 F3(114°01.872'E,22°30.626'N)3 个取样站,该断面的 3 个取样站均位于红树林内。

14 个季度的取样分别是 2004 年冬季(1 月份)和秋季(10 月份),2005 年至 2007 年的春季(3~4 月份)、夏季(7~8 月份)、秋季(9~10 月份)和冬季(12 月份底)。

进行大型底栖动物取样时,每个取样站用 25cm×25cm 的取样框随机、连续采集 4 个深 20 cm 的泥样,每个样框的泥样分别装入塑料袋,带到岸边水塘处,倒入桶内,加水搅拌,用孔径 0.5 mm 的套筛过滤,滤出的生物及余留的泥沙用 5% 甲醛固定,带回实验室内分类和称湿重。称重时先将标本在滤纸上将生物体外的水分吸干,然后用感量为 0.1 mg 的电子天平称重。

2005 年 12 月和 2007 年 10 月,在每个站位取泥样 300~400 g,在恒温干燥两用箱内 60℃ 烘干,测定总有机质(TOM)、硫化物和底质粒径。总有机质分析采用重铬酸钾-硫酸溶液氧化法,硫化物测定采用对氨基二甲

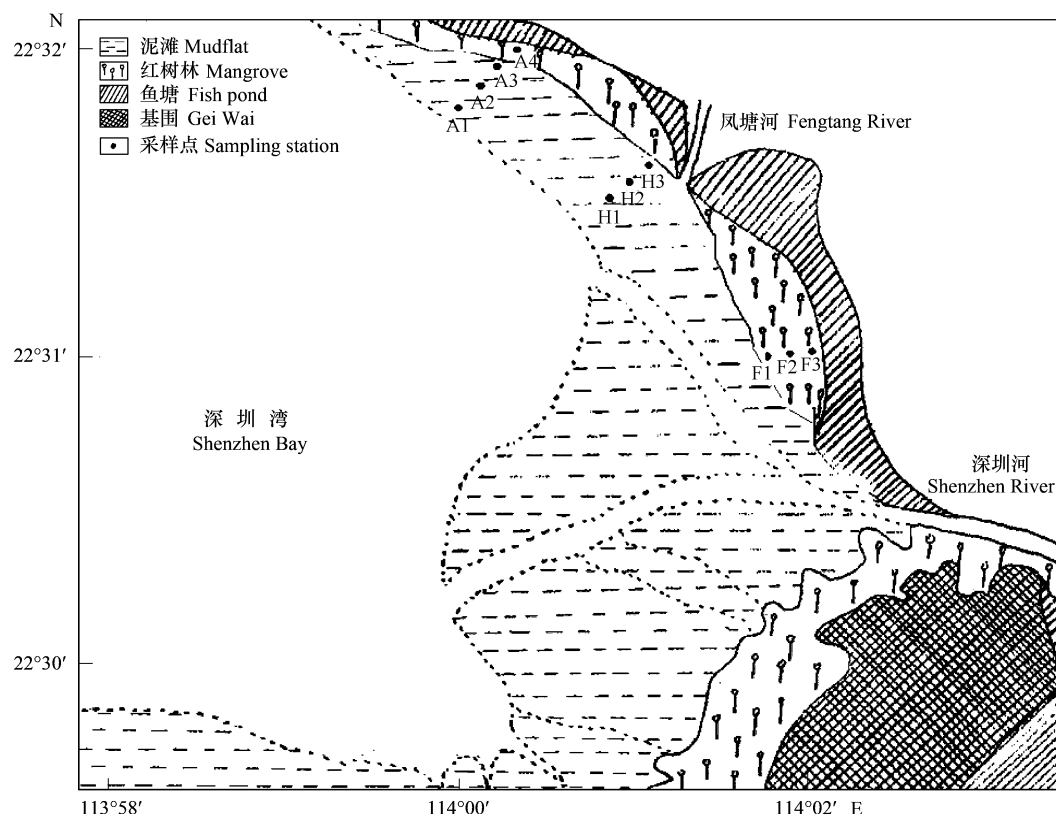


图1 深圳湾北岸红树林湿地大型底栖动物取样站示意图

Fig. 1 Macrofaunal sampling stations in the mangrove wetland of northern Shenzhen Bay

基苯胺比色法。底质粒径采用 MASTERSIZER2000 激光粒径分析仪测定。盐度、COD、BOD₅、总氮、氨氮、总磷的数据参考福田·城大红树林研发中心的《福田红树林湿地水质监测分析报告》(2007 年 11 月)。热带气旋、暴雨、雷暴、降雨量、气温等资料从深圳市气象局网站获得。

根据 14 个季度获得的溪沙蚕数据,采用 SPSS 13.0 软件对不同取样站、不同断面之间溪沙蚕数量以及与环境因子之间是否显著相关进行 *T* 检验 (Paired-Samples *T* Test)。

2 结果

2.1 溪沙蚕数量的年际变化

A 断面溪沙蚕密度的年均值大小顺序是 2005 年 > 2006 年 > 2007 年 > 2004 年 (表 1); 2004 年至 2007 年 H 断面溪沙蚕密度均在 4 ind/m² 以下; F 断面溪沙蚕密度的年均值大小顺序是 2005 年 > 2006 年 > 2007 年 > 2004 年, 与 A 断面溪沙蚕密度的年均值变化一致。

2.2 溪沙蚕数量的季节变化

A 断面溪沙蚕生物量的年均值是 2006 年 > 2005 年 > 2007 年 > 2004 年; F 断面溪沙蚕生物量的年均值变化与同断面溪沙蚕密度的年均值变化一致。

综合 3 条断面 14 个季度的数据, 深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕密度和生物量的年均值大小顺序均是: 2005 年 (235 ind/m², 22.03 g/m²) > 2006 年 (148 ind/m², 12.60 g/m²) > 2007 年 (60 ind/m², 1.57 g/m²) > 2004 年 (7 ind/m², 0.12 g/m²)。如果不考虑 2004 年 2 个季度的数据, 则深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕密度和生物量的年均值大小顺序均是: 2005 年 > 2006 年 > 2007 年。

A 断面溪沙蚕密度的时间变化没有什么规律性, 2004 年冬季和 2007 年夏季在 A 断面没有采集到溪沙蚕, 2005 年 3 月 (春季) 溪沙蚕密度高, 达 185 ind/m² (图 2), 总平均结果表明, A 断面溪沙蚕密度春季最高, 冬季第二, 秋季第三, 夏季最低 (图 3); 在 H 断面仅 2005 年夏季、2007 年夏季 2 个季度采集到溪沙蚕; F 断面溪

沙蚕密度从2004年秋季至2006年春季呈上升、然后至2007年夏季呈下降趋势(图2),总平均结果表明,F断面溪沙蚕密度夏季最高,春季第二,秋季第三,冬季最低(图3)。

表1 深圳湾北岸泥滩三条断面溪沙蚕平均密度(ind/m²)和平均生物量(g/m²)的年际变化

Table 1 The annual variations of the mean density (ind/m²) and biomass (g/m²) of *N. abiuma* at three transects in the intertidal mudflat of northern Shenzhen Bay

年份 Year	断面 Transect	密度(ind/m ²) Density	生物量(g/m ²) Biomass	年密度(ind/m ²) Annual density	年生物量(g/m ²) Annual biomass
2004	A	6	0.01	7	0.12
	H	0	0		
	F	16	0.34		
2005	A	95	0.67	235	22.03
	H	4	0.05		
	F	607	65.36		
2006	A	86	0.88	148	12.60
	H	0	0		
	F	359	36.91		
2007	A	43	1.10	60	1.57
	H	2	0.31		
	F	104	1.57		

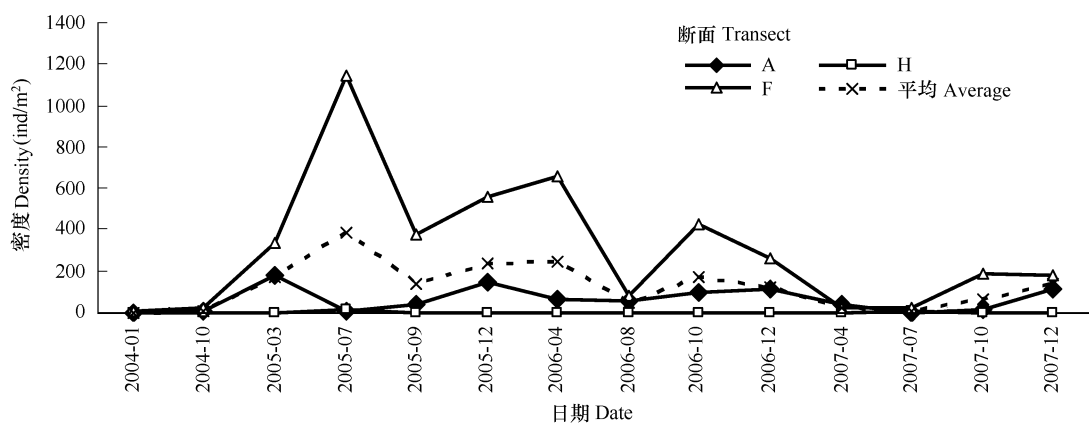


图2 深圳湾福田红树林湿地3条断面溪沙蚕密度的时间变化

Fig. 2 The temporal variations of *N. abiuma* density at three transects in the Futian mangrove wetland of Shenzhen Bay

A断面溪沙蚕生物量在2005年、2006年、2007年的春季均是在本年度最高,2004年没有春季的数据(图4),总平均结果表明,A断面溪沙蚕生物量春季最高,冬季第二,秋季第三,夏季最低(图5),与密度的季节变化是一致的;在H断面仅2005年夏季、2007年夏季2个季度采集到溪沙蚕(图4);F断面溪沙蚕生物量在2005年春季与2006年春季之间均有较高的生物量,在37.65~120.15 g/m²之间(图4),总平均结果表明,F断面溪沙蚕生物量春季最高,夏季第二,冬季第三,秋季最低(图5),与密度的季节变化不一致。

综合3条断面14个季度的数据表明,深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕密度的季节均值大小顺序是:夏季(149

ind/m²) > 春季(148 ind/m²) > 冬季(116 ind/m²) > 秋季(99 ind/m²);深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕生物量的季节均值大小顺序是:春季(27.06 g/m²) > 夏季(6.71 g/m²) > 冬季(6.14 g/m²) > 秋季(4.74 g/m²)。

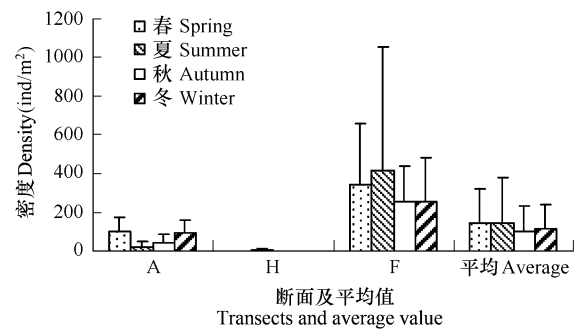


图3 深圳湾福田红树林湿地3条断面溪沙蚕密度的季节变化

Fig. 3 The seasonal variations of *N. abiuma* density at three transects in the Futian mangrove wetland of Shenzhen Bay

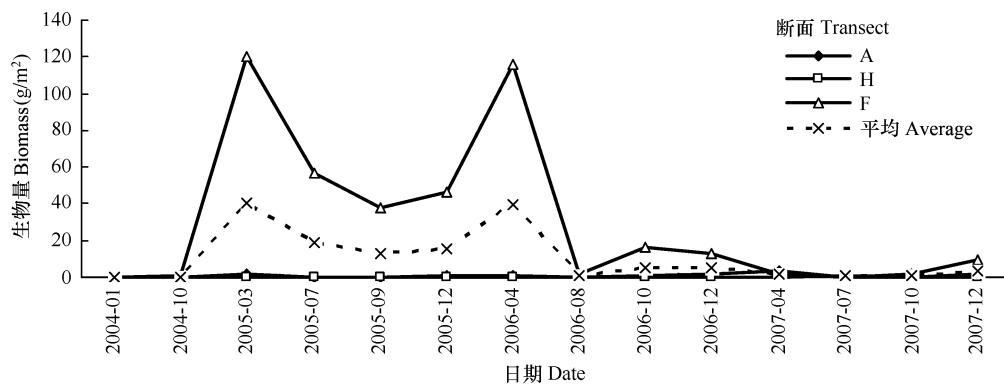


图4 深圳湾福田红树林湿地3条断面溪沙蚕生物量的时间变化

Fig.4 The temporal variations of *N. abiuma* biomass at three transects in the Futian mangrove wetland of Shenzhen Bay

表2 深圳湾福田红树林湿地各取样站之间溪沙蚕密度(右上角)和生物量(左下角)差异的 *T* 检验值(*n* = 14)

Table 2 *T*-test value of *N. abiuma* density (top right corner) and biomass (bottom left corner) among sampling stations in Futian mangrove wetland of Shenzhen Bay

<i>T</i>	A1	A2	A3	A4	H1	H2	H3	F1	F2	F3
A1	1	0.299	0.135	-2.996 **	-0.069	2.306 *	1.782	-0.783	-3.323 **	-1.862
A2	-0.232	1	-0.137	-2.967 *	-0.227	2.731 *	2.092	-0.956	-3.369 **	-1.932
A3	-0.178	-0.064	1	-2.806 *	-0.121	1.866	1.462	-0.783	-3.287 **	-1.855
A4	-0.441	-0.227	-0.112	1	2.878 *	3.333 **	3.209 **	2.050	-2.548 *	-0.376
H1	0.671	0.769	0.549	0.955	1	1.073	0.910	-0.525	-3.127 **	-1.907
H2	1.992	2.045	1.145	1.997	1.296	1	-1.000	-1.920	-3.417 **	-2.113
H3	1.795	1.880	1.070	1.855	1.102	-1.000	1	-2.003	-3.421 **	-2.145
F1	-0.533	-0.393	-0.270	-0.204	-0.913	-1.587	-1.623	1	-3.216 **	-2.036
F2	-2.442 *	-2.433 *	-2.414 *	-2.442 *	-2.431 *	-2.447 *	-2.445 *	-2.413 *	1	2.076
F3	-1.924	-1.869	-1.818	-1.818	-1.966	-2.060	-2.069	-2.063	2.169 *	1

** 1% 水平显著相关; * 5% 水平显著相关

2.3 溪沙蚕数量的空间分布

深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕数量的空间分布很不均匀,不同断面之间差别很大,如 A 断面的溪沙蚕总平均密度和总平均生物量分别是 65 ind/m²和 0.76 g/m²,H 断面分别是 10 ind/m²和 0.13 g/m²,F 断面分别是 308 ind/m²和 30.21 g/m²。可见,溪沙蚕数量在 F 断面分布最多,其次是 A 断面,H 断面最少。同一条断面内溪沙蚕数量分布也不均匀,如 A 断面在红树林内的 A4 取样站溪沙蚕密度高(图 6),在 H 断面仅在 H1 和 H3 取样站偶尔采到少量溪沙蚕,在 H2 取样站尚未采到溪沙蚕,F 断面中 F2 取样站溪沙蚕数量最高,F3 取样站第二,F1 取样站最低(图 7)。

2.4 深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕与环境因子的关系

2007 年秋季测定了深圳湾福田红树林湿地 10 个取样站的有机质、硫化物含量和沉积物的中值粒径。有机质含量 A4 取样站最高,为 3.77%,A1 取样站最低,为 1.79%(表 3)。从断面有机质平均值看,F 断面最高,为 3.40%,H 断面第二,为 2.74%,A 断面最低,为 2.38%。硫化物含量 F3 取样站最高,为 1631 mg/kg,A1 取样站最低,为 133 mg/kg。从断面硫化物平均值看,也是 F 断面最高,为 989 mg/kg,H 断面第二,为 887

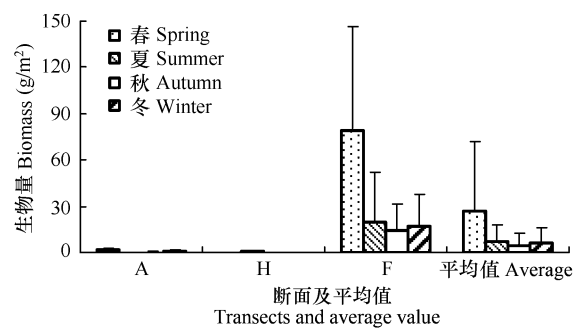


图5 深圳湾福田红树林湿地3条断面溪沙蚕生物量的季节变化
Fig.5 The seasonal variations of *N. abiuma* biomass at three transects in the Futian mangrove wetland of Shenzhen Bay

mg/kg, A 断面最低, 为 461 mg/kg。A3 取样站沉积物中值粒径最高, 为 10.94, H2 取样站最低, 为 6.05。从断面中值粒径平均值看, A 断面最高, 为 10.24, F 断面第二, 为 8.35, H 断面最低, 为 6.48。

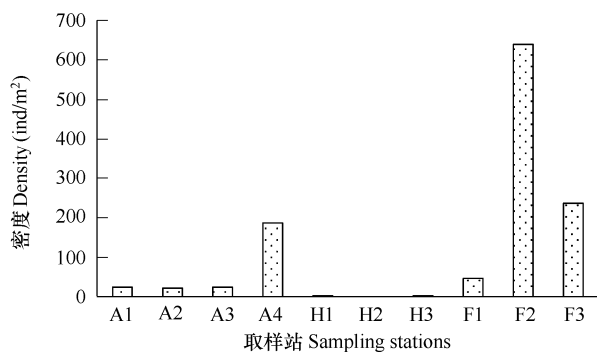


图6 深圳湾北岸泥滩各取样站溪沙蚕的总平均密度

Fig.6 The mean density of *N. abiuma* at all sampling stations in the intertidal mudflat of northern Shenzhen Bay

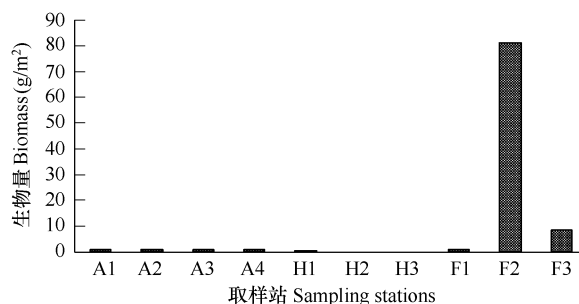


图7 深圳湾北岸泥滩各取样站溪沙蚕的总平均生物量

Fig.7 The mean biomass of *N. abiuma* at all sampling stations in the intertidal mudflat of northern Shenzhen Bay

表3 深圳湾福田红树林湿地各取样站的有机质、硫化物和沉积粒径(2007 年秋季)

Table 3 Organic matter, sulfide and grain-size at sampling stations in Futian mangrove wetland of Shenzhen Bay (Autumn 2007)

取样站 Sampling stations	A1	A2	A3	A4	H1	H2	H3	F1	F2	F3
有机质 Organic matter(%)	1.79	1.81	2.14	3.77	2.51	3.46	2.24	3.03	3.57	3.60
硫化物 Sulfide(mg/kg)	133	375	304	1033	791	1016	853	425	912	1631
中值粒径 Medium grain-size(μm)	9.78	9.88	10.94	10.35	7.07	6.05	6.31	9.78	7.44	7.82

2007 年秋季, 将同期获得的溪沙蚕的密度和生物量与有机质、硫化物、沉积物中级粒径进行相关分析表明, 它们之间均没有显著相关关系。根据福田红树林湿地水质监测的盐度、COD、BOD₅、总氮、氨氮、总磷等数据^①, 与同期的溪沙蚕的密度和生物量进行相关分析也表明, 它们之间均没有显著相关关系(表4)。

表4 溪沙蚕密度和生物量与其它环境因子之间的相关系数 R

Table 4 Correlation coefficients among quantitive of *Namalycastis abiuma* and environmental factors in Futian mangrove wetland of Shenzhen Bay

环境因子 Factors	溪沙蚕密度 Density	溪沙蚕生物量 Biomass	环境因子 Factors	溪沙蚕密度 Density	溪沙蚕生物量 Biomass
有机质 * Organic matter	0.500	0.364	COD	-0.454	-0.083
中值粒径 * Medium grain-size	0.022	0.162	BOD ₅	-0.350	-0.190
硫化物 * Sulfide	0.441	0.102	总氮 Total Nitrogen	-0.275	-0.118
电导率 Conductivity	0.006	-0.177	氨氮 Ammonia Nitrogen	-0.354	-0.070
浊度 Turbidity	-0.300	-0.103	总磷 Total Phosphorus Anhydride	-0.394	-0.096
盐度 Salinity	-0.043	-0.171			

* : 为 2007 年秋季各取样站数据, $n = 10$; 其余参数为 2007 年春、夏、秋数据, $n = 9$ Datas of sampling stations in Autumn 2007, $n = 10$; The rest in Spring, Summer and Autumn 2007, $n = 9$

将 2005 年至 2007 年的年降雨量^②与相对应的溪沙蚕密度和生物量进行相关分析表明, 年降雨量与溪沙蚕密度和生物量均呈显著正相关关系, 相关系数(R)分别是 0.986 和 0.959, $n = 4$, 但将查寻的 2005 年至 2007 年的季度降雨量、气温、光照时数、相对湿度等数据与相对应的溪沙蚕密度和生物量进行相关分析表明, 季度

① 福田·城大红树林研发中心. 福田红树林湿地水质监测分析. 2007 年 11 月

② 深圳市气象局网站资料(没查到 2004 年降雨量的数据). <http://www.121.com.cn/main/index.shtml>.

降雨量、气温、光照时数、相对湿度与溪沙蚕密度(R 分别是 0.203, 0.022, -0.484 和 0.199, $n = 12$) 和生物量(R 分别是 -0.119, -0.406, -0.538 和 0.082, $n = 12$) 均无显著相关。

4 讨论

4.1 溪沙蚕时空分布特征

溪沙蚕的空间分布与红树林有着密切关系。从同一条断面的取样站看, A 断面的 A4 取样站在红树林内, A3 取样站介于红树林与光滩交接处, A1 和 A2 位于光滩, 溪沙蚕在 A4 取样站的密度明显高于同一条断面的其它取样站(A1、A2 和 A3 取样站)。从不同断面看, F 断面 3 个取样站有两个取样站在红树林内, 一个靠近红树林, A 断面的 4 个取样站有一个取样站在红树林内, 而 H 断面 3 个取样站均在光滩内, 因此 F 断面的溪沙蚕密度和生物量高于 A 断面, A 断面的溪沙蚕密度和生物量又高于 H 断面。Rasmussen 发现溪沙蚕摄食腐烂的木屑^[14]。

A 断面溪沙蚕密度和生物量的季节变化与 1995 ~ 1998 年羽须鳃沙蚕和腺带刺沙蚕的季节变化^[8] 相似, 均是春季最高, 夏季最低, 也与本实验同期(2004 ~ 2007 年)羽须鳃沙蚕的季节变化一致。但是, A 断面溪沙蚕密度和生物量的季节变化与 F 断面溪沙蚕密度的季节变化不一致, F 断面溪沙蚕密度夏季最高, 春季第二, 秋季第三, 冬季最低; 生物量春季最高, 夏季第二, 冬季第三, 秋季最低。F 断面密度和生物量季节变化的不一致与溪沙蚕繁殖季节有关, 8 月上旬在厦门污水处理厂生物滤池发现溪沙蚕长度在 4 ~ 9 cm^[7], 在深圳溪沙蚕繁殖期应该开始于 6 月份, 也就是说深圳福田红树林湿地溪沙蚕繁殖期应该是夏季, 故夏季密度较高, 但幼体生物量比较轻, 而春季是溪沙蚕繁殖前期, 个体较肥大, 因而春季溪沙蚕生物量较高。A 断面与 F 断面溪沙蚕密度季节变化的不一致, 与地理位置和盐度等生态因子有关, F 断面靠近深圳河, 淡水注入比 A 断面多, 且 3 个取样站均在红树林内, 有利于溪沙蚕的繁殖, 而 A 断面 4 个取样站中只有 1 个取样站是在红树林内, 夏季光照时数较长, 太阳直射光滩, 不利于溪沙蚕的繁殖, 所以 A 断面春季密度高而 F 断面夏季密度高。

4.2 环境和气候因子对溪沙蚕分布的影响

王金宝等对胶州湾多毛类环节动物数量分布与环境因子的关系研究中认为, 海底底质是影响多毛类数量分布与变化的重要因子, 沙质软泥有利于多毛类生长, 而粗砂砾石底质多毛类分布较少; 在一定条件下, 盐度是多毛类的限制因子, 当盐度升高时, 其生物量和栖息密度呈增加趋势^[15]。对多毛类群落来讲, 软泥有利于多毛类生长, 对溪沙蚕种群来讲, 不完全符合这一特征, 溪沙蚕适宜生长在潮湿的泥沙质、泥质或砂质层中, 也就是说它对底质的要求并不严格, 这也是溪沙蚕密度和生物量与沉积物中值粒径没有显著相关的原因。起主导作用的是红树林的分布, 红树落叶增加了沉积物的腐殖质。适宜的温度、沉积的泥层以及其中的腐殖质为溪沙蚕的生长繁殖创造了条件^[7]。溪沙蚕是属于极少数特异适应于红树林生存环境动物中的一种, 在非红树林区较少分布^[16]。盐度升高反而不利于溪沙蚕的生长繁殖, 原因溪沙蚕是淡水和咸淡水种。初步判断, 溪沙蚕与同科的沙蚕(*Nereis diversicolor*) 一样, 属于耐污的物种。沙蚕的污染耐性机制可能是通过多种生态化学过程实现的, 包括通过大量粘液的分泌, 在沙蚕体表形成一层保护膜; 与有效以及溶解于水中的污染物离子结合, 从而降低污染物的生物可利用性; 加快排泄速率等^[17]。在石油烃污染暴露条件下, 双齿围沙蚕(*Perinereis aibuhitensis*) 体内乙酰胆碱酯酶活性受到显著抑制^[18]。目前还缺乏溪沙蚕毒性研究资料。

为什么年降雨量与溪沙蚕密度和生物量呈显著正相关关系, 而季度降雨量与溪沙蚕密度和生物量无显著相关? 这是因为溪沙蚕密度和生物量与降雨量的季节变化不一致, 溪沙蚕密度的季节均值大小顺序是: 夏季 > 春季 > 冬季 > 秋季; 溪沙蚕生物量的季节均值大小顺序是: 春季 > 夏季 > 冬季 > 秋季; 而降雨量的季节变化是夏季 > 秋季 > 冬季 > 春季。无论是溪沙蚕的密度还是生物量, 均是秋季最低, 而降雨量秋季是次高, 所以季度降雨量与溪沙蚕密度和生物量均无相关关系。Gilda 等认为降雨量是影响潮间带群落的重要因素, 降雨量与多毛类丝鳃虫科(Cirratulidae) 丰度的增加和才女虫(*Polydora* sp.)、齿吻沙蚕(*Nephtys* spp.)、*Cerastoderma glaucum*、螺赢蜚(*Corophium* spp.) 和钩虾类(Gammaridea) 丰度减少密切相关^[19]。降雨量等气候因子影响溪沙蚕密度和生物量, 但影响不显著。

5 结论

(1) 深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕密度和生物量的年均值大小顺序均是:2005 年 > 2006 年 > 2007 年 > 2004 年。溪沙蚕密度的季节均值大小顺序是:夏季 > 春季 > 冬季 > 秋季;而溪沙蚕生物量的季节均值大小顺序是:春季 > 夏季 > 冬季 > 秋季。

(2) 深圳湾福田红树林湿地溪沙蚕的空间分布很不均匀,不同断面或取样站之间数量差别很大,有红树林的取样站溪沙蚕密度高,没有红树林的取样站溪沙蚕密度很低。由此可见,红树林湿地是溪沙蚕喜好栖息的生境。

(3) 溪沙蚕密度和生物量与沉积物中的总有机质、中值粒径、硫化物等参数没有显著相关关系。溪沙蚕 2004 年的年平均密度和生物量为最低值,2005 年到 2007 年逐年下降,与降雨量的减少趋势是一致的,但溪沙蚕的密度、生物量与降雨量、气温、光照时数、相对湿度均没有显著相关,即溪沙蚕对降雨量等气候因子的响应不显著。

References:

- [1] Sun R P, Yang D J. *Nereis polychaeta*(two) annelida volume 33 invertebrate. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] Yang D J, Sun R P. *Polychaete Annelida of Chinese offshore*. Beijing: Agriculture Press, 1988.
- [3] Santos C S G, Lana P C. *Nereididae (Annelida, Polychaeta) da costa nordeste do Brasil: II. Gêneros Namalycastis, Ceratocephale, Laeonereis e Rullierinereis*. Iheringia, Série Zoologia, 2001, 91: 137—149.
- [4] Schrijvers J, Camargo M G, Pratiwi R, *et al.* The infaunal macrobenthos under East African *Cerriops tagal* mangroves impacted by epibenthos. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1997, 222(1998): 175—193.
- [5] Eldredge L G, Miller S E. Numbers of Hawaiian species: Supplement 2, including a review of freshwater invertebrates. *Records of the Hawaii biological survey for 1996, 1997*, 48: 3—22.
- [6] Lana P C, Santos C S G, Garraffoni A R S, *et al.* Checklist of polychaete species from Paran State (Southern Brazil). *Check list*, 2006, 2(3): 30—63.
- [7] Xie X Q. Influence of *Namalycastis abiuma* on operation of biofilter of WWTP and prevention measures. *China water & waste water*, 2007, 23(14): 100—102.
- [8] Cai L Z, Lin P, She S S. Studies on Polychaete ecology on the mudflat of the intertidal zone in Shenzhen Estuary. *Marine Environmental Science*, 1998, 17(1): 41—47.
- [9] Cai L Z, Lin P, Liu J J. Quantitative dynamics of three species of large individual Polychaete and environmental analysis on mudflat in Shenzhen Estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 22(3): 97—103.
- [10] Cai L Z, Li H M, Liu J J, *et al.* Distribution and polluting effects on *Capitella capitata*, *Nephtys oligobranchia*, *Tharyx* sp. on the intertidal mudflats in Shenzhen Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1648—1653.
- [11] Cai L Z, Li H M, Lin P, *et al.* Analysis of environmental effect and Polychaete quantitative variations on intertidal mudflat in Shenzhen Estuary. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2001, 40(3): 741—750.
- [12] Cai L Z, Zheng T L, Lin J D. Spatial and temporal distributions of *Denronereis pinnaticirris* and *Neanthes glandicincta* (polychaeta; nereididae) in the organically-enriched mudflat of deep bay, China. *Asian Marine Biology*, 2001, 18: 25—33.
- [13] Yang L, Cai L Z, Tong Y G, *et al.* Heavy metal contents on Futian tidal flat in Shen zhen Bay an their effect on macrobenthos. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2005, 24(2): 157—164.
- [14] Rasmussen E. *Namalycastis abiuma* (Mueller in Grube) 1871, an aberrant nereidid polychaete of a Georgia salt marsh area and its faunal associations. *Gulf Research Reports*, 1994, 9(1): 17—28.
- [15] Wang J B, Li X Z, Wang H F, *et al.* Relationship between quantitive distribution of benthic Polychaete Annelida and environmental factors in Jiaozhou Bay. *Chin J Appl Environ Biol*, 2006, 12(6): 798—803.
- [16] Metcalfe K N, Glasby C J. Diversity of Polychaeta (Annelida) and other worm taxa in Mangrove habitats of Darwin Harbour, northern Australia. *Journal of Sea Research*, 2008, 59: 70—82.
- [17] Sun F H, Zhou Q X. Research advance in characteristics and mechanisms of *Nereis diversicolor* endurance against environmental pollution. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(3): 530—534.
- [18] Wang J, Zhou Q X, Zhang Q R, *et al.* Toxic effects of petroleum hydrocarbons, copper and cadmium on Polychaete *Perinereis aibuhitensis* grube

and on its responses in acetylcholinesterase activity. Environmental Science, 2007, 28(8): 1796—1801.

- [19] Silva G, Costa J L, Almeida P R, *et al.* Structure and dynamics of a benthic invertebrate community in an intertidal area of the Tagus estuary, western Portugal: a six year data series. Hydrobiologia, 2006, 555: 115—128.

参考文献:

- [1] 孙瑞平,杨德渐. 无脊椎动物第三十三卷环节动物门多毛纲(二)沙蚕目. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 杨德渐,孙瑞平. 中国近海多毛环节动物. 北京: 农业出版社, 1988.
- [7] 谢小青. 溪沙蚕对污水厂生物滤池运行的影响及防治措施. 中国给水排水, 2007, 23(14): 100~102.
- [8] 蔡立哲,林鹏,余书生. 深圳河口泥滩多毛类动物的生态研究. 海洋环境科学, 1998, 17(1): 41~47.
- [9] 蔡立哲,林鹏,刘俊杰. 深圳河口泥滩三种大型多毛类的数量动态及其环境分析. 海洋学报, 2000, 22(3): 97~103.
- [10] 蔡立哲,厉红梅,刘俊杰,等. 深圳河口泥滩三种多毛类的数量季节变化及污染影响. 生态学报, 2001, 21(10): 1648~1653.
- [11] 蔡立哲,厉红梅,刘俊杰,等. 深圳河口朝间带泥滩多毛类的数量变化及环境影响. 厦门大学学报(自然科学版), 2001, 40(3): 741~750.
- [13] 杨丽,蔡立哲,童玉贵,等. 深圳湾福田潮滩重金属含量及对大型底栖动物的影响. 台湾海峡, 2005, 24(2): 157~164.
- [15] 王金宝,李新正,王洪法,等. 胶州湾多毛类环节动物数量分布与环境因子的关系. 应用与环境生物学报, 2006, 12(6): 798~803.
- [17] 孙服红,周启星. 沙蚕耐污染的特征及机理研究进展. 应用生态学报, 2006, 17(3): 530~534.
- [18] 王晶,周启星,张倩茹,等. 沙蚕暴露于石油烃、 Cu^{2+} 和 Cd^{2+} 毒性效应及乙酰胆碱酯酶活性的响应. 环境科学, 2007, 28(8): 1796~1801.