

# 深圳湾潮间带底栖动物群落结构的等级聚类与非度量多维标度排序

厉红梅<sup>1</sup>, 蔡立哲<sup>1</sup>, 林丽珠<sup>2</sup>, 姚建彬<sup>2</sup>

(1 厦门大学环境科学研究中心; 2 厦门大学化工系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 应用等级聚类与非线性多维标度排序两种多变量统计分析方法研究了深圳湾潮间带底栖动物群落结构的时空变化。结果表明: 1) 底栖动物群落在深圳福田 A 断面上与香港米埔 RB 和 ET 断面上有较明显的差异, 在 A 断面高潮区与中、低潮区也有较明显的空间差异; 2) RB 和 ET 断面底栖动物群落有明显的季节变化, 温度、盐度和潮汐是影响群落结构变化的主要因子。

**关键词:** 群落结构; 等级聚类; 非线性多维标度; 深圳湾

**中图分类号:** Q 178.531

**文献标识码:** A

深圳湾南北两岸有著名的内伶仃—福田国家级自然保护区和香港米埔自然保护区。近年来, 深圳湾生态系统的研究和环境保护受到重视<sup>[1]</sup>。底栖动物群落被认为能较好地监测海域周围环境质量的变化情况<sup>[2]</sup>。Morton 等<sup>[3]</sup>在《香港海岸生态学》一书中对深圳湾红树林沼泽和泥滩的底栖生物种类和生态特点有若干报道。蔡立哲等<sup>[4]</sup>在 1994 年对深圳湾福田潮间带泥滩的大型底栖动物群落进行调查, 报道福田潮间带泥滩底栖动物群落种类较少, 多样性较低。1996 年蔡立哲等<sup>[5]</sup>又对深圳河口泥滩多毛类动物的生态进行研究。但是, 对于深圳湾潮间带的大型底栖动物群落结构的时空变化至今未见详细的报道。等级聚类与非度量多维标度(简称 MDS)被认为是两种较好的研究群落结构变化的多变量分析技术。为此, 我们在 1998 年秋季至 1999 年夏季 4 个季度调查的基础上, 应用这两种多变量统计分析方法研究了深圳湾潮间带大型底栖动物群落结构时空变化及其成因, 为开展深圳河和深圳湾的环境监测评估和整治提供科学依据。

## 1 方法

### 1.1 站位设置与取样

深圳湾潮间带大型底栖动物群落调查共设 3 个断面 9 个取样站(图 1)。A 断面包括 A1、A2 和 A3 等 3 个取样站, 位于深圳福田一侧, RB 断面包括 RB0、RB3、450 等 3 个取样站, ET

收稿日期: 2000-12-06

作者简介: 厉红梅(1975-), 男, 硕士研究生

断面包括 ET1、ET2 和 ET4 等 3 个取样站, RB 断面和 ET 断面位于香港米埔一侧 以 1998 年 10 月和 1999 年 1 月、4 月、7 月分别代表秋季、冬季、春季和夏季 每个站位, 用直径 10 cm、深 20 cm 的塑料管连续采集 5 管泥样, 分装, 并用孔径 0.5 mm 的套筛淘洗, 洗出的底栖动物用洋红染色以便分选, 5% 甲醛溶液固定, 带回实验室分类鉴定

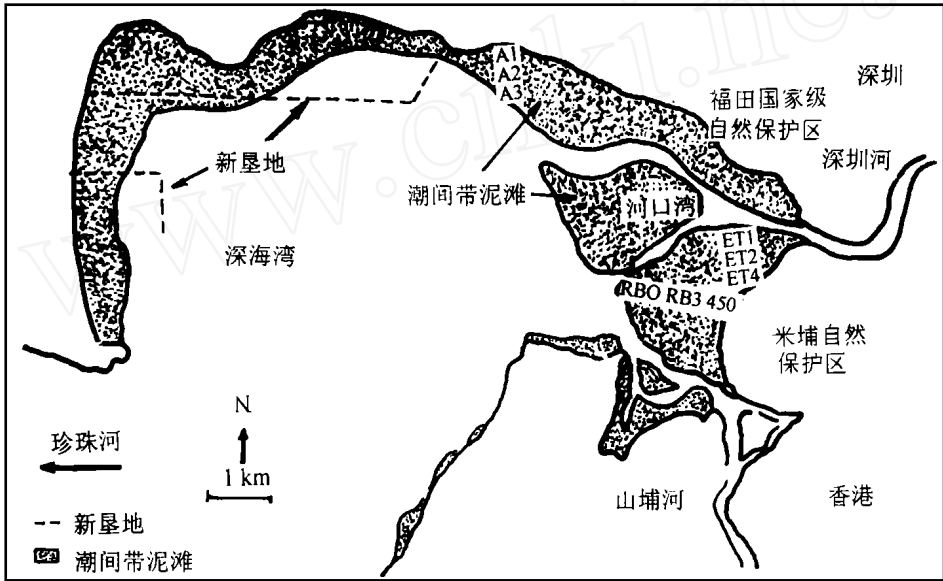


图 1 深圳湾潮间带底栖动物调查站位

Fig 1 Benthic sampling stations on the intertidal in Shenzhen Bay

## 1.2 数据处理方法

### 1.2.1 原始数据的预处理

对于群落调查得到的原始数据, 为了降低数量上占优势的个别物种对群落结构的影响权重, 在计算样方之间的相似性系数之前, 通常需要对原始数据进行数学上的变换 本文对各站位原始物种生物丰富度数据进行四次方根变换, 公式为:

$$Y_{ij} = X_{ij}^{\frac{1}{4}}$$

式中  $Y_{ij}$  为第  $i$  种物种在第  $j$  个样本中的丰度,  $Y_{ij}$  为经变换后的值

### 1.2.2 群落相似性的测量方法

群落相似性测量使用 Bray-Curtis 相似性系数 (Bray and Curtis, 1957):

$$S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right\}$$

其中:  $S_{jk}$  是样方  $j$  与样方  $k$  的 Bray-Curtis 相似性系数;  $y_{ij}$  是第  $j$  个样方的第  $i$  物种个体数;  $y_{ik}$  是第  $k$  个样方的第  $i$  物种个体数;  $p$  是所有物种总数

### 1.2.3 等级聚类分析

等级聚类分析的操作步骤: 根据计算出来的 Bray-Curtis 相似性系数, 采用逐步成群法中均值连接法, 选择距离最近的一对样方合并为一类, 再计算新类与其他类之间的距离, 删除已选出的一对所在的行和列, 再进行新的合并, 直至所有样品合并为一类为止

### 1.2.4 非度量多维标度

非度量多维标度的基本原理: 假设有  $n$  个实体  $1, 2, \dots, n$ , 实体  $j$  和  $k$  之间的相异性为  $\delta_{jk}$ , 将其列为半矩阵, 实体自身的相异性略去, 则共有  $m = \frac{n(n-1)}{2}$  个相异值 假设这  $m$  个值按序值从小到大排列:  $\delta_{1k1} \quad \delta_{2k2} \quad \dots \quad \delta_{mkm}$ . 若为相似性值则按序值从大到小排列 非度量多维标度的目的就在于用  $t$  维 ( $t \leq n$ ) 欧氏空间上的  $n$  个点来表示这个实体, 而且点间欧氏距离大小

$d_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (y_{ij} - y_{ik})^2}$  顺序与相异值序列一致 其中:  $d_{jk}$  是欧氏空间上第  $j$  点与第  $k$  点之间的距离;  $y_{ij}$  是第  $j$  样方的第  $i$  物种个体数;  $y_{ik}$  是第  $k$  个样方的第  $i$  物种个体数;  $p$  是所有物种总数

## 2 结 果

由于设置 9 个取样站位, 每季度取一次样, 共取 4 次样, 所以总共得到 36 个不同的样方数据 在这 36 个样方中共包含底栖动物 25 种, 其中多毛类 9 种, 软体动物 5 种, 甲壳动物 8 种, 扁形动物、棘皮动物和鱼类各 1 种 不同季节各站位取样样方用自然数在图中来进行标识, 1998 年秋、冬季和 1999 年春、夏季 A 1、A 2、A 3、RB0、RB 3、45Q、ET 1、ET 2 和 ET 4 各站位取样样方依次标识为 1、2、3、4、5、6、7、8、9; 10、11、12、13、14、15、16、17、18; 19、20、21、22、23、24、25、26、27; 28、29、30、31、32、33、34、35、36 对这 36 个不同时间和站位采集得到的样方数据在 Bray-Curtis 相似性度量的基础上分别进行等级聚类分析和非度量多维标度排序分析, 其结果分别见图 2、3

## 3 讨 论

### 3.1 深圳湾底栖动物群落结构组成季节变化规律

从等级聚类分析的结果(图 2)和非度量多维标度排序分析的结果(图 3)都可以看出位于香港米埔一侧的深圳湾潮间带底栖动物群落结构随季节不同而有较明显的变化 香港米埔一侧潮间带各站位所有取样样方, 在 70% 的相似性水平上, 等级聚类分析的结果形成 4 组: 第 1 组为 6、7、8、9; 第 2 组为 4、5、13、14、16、17、18; 第 3 组为 15、22、23、25、26、27; 第 4 组为 24、31、32、33、34、35、36 这种分组基本上是根据季节的不同来划分的 MDS 的分析结果也可以把这些取样样方分为与上述对应的 4 个组别, 并且在 MDS 的标度轴 1 上, 所有样方都依秋—冬—春—夏季节的更替依序而从右到左排列, 这一结果进一步清晰说明 RB 和 ET 断面各站位底栖动物群落结构组成随季节不同而有明显的的变化规律

但是位于深圳福田一侧的 A 断面底栖动物群落结构不呈现明显的季节变化 等级聚类分析的 A 断面各站位样方不以季节形成族群, 同样 A 断面各站位取样样方无论在 MDS 的标度轴 1 还是在标度轴 2 的排列也都不与季节依序密切相关 高世和等<sup>[6]</sup>报道, 九龙江口红树林区底相大型底栖动物的群落结构组成基本不呈现季节演替现象, 深圳湾 A 断面底栖动物群落结构组成基本不受季节的影响这一特点与其相似 造成 A 断面与 RB 和 ET 断面群落组成季节

变化差异的原因是在RB 和 ET 断面有一些明显受季节变化影响的种类而在A 断面却没有出现如短拟招螺, 1998 年 10 月和 1999 年 1, 4, 7 月 4 季度取样中, 在RB 和 ET 断面上其平均密度分别为: 0 个/m<sup>2</sup>、68 个/m<sup>2</sup>、34 个/m<sup>2</sup>、7 个/m<sup>2</sup>和 8 5 个/m<sup>2</sup>、76 5 个/m<sup>2</sup>、42 5 个/m<sup>2</sup>、25 5 个/m<sup>2</sup>, 在A 断面却没有采到

### 3.2 深圳湾底栖动物群落结构空间变化规律

1) 在 56% 的相似性水平上, 等级聚类分析将深圳湾潮间带各断面取样样方分为两组, 福田一侧 A 断面各站位取样样方为一组, 米埔一侧 RB 和 ET 断面各站位取样样方为另一组。这说明深圳湾潮间带底栖动物群落结构在深圳福田一侧与香港米埔一侧有较明显的差异。盐度可能是造成 A 断面与 RB 和 ET 断面群落结构空间差异的主要原因。1999 年 10 月监测到的 A、RB 和 ET 三断面盐度的平均值分别为 1.87%、1.23%、0.4%<sup>[5]</sup>。在这 3 个断面上分布着许多与盐度成正相关的

底栖动物种类, 其密度随盐度在一定范围内的增大而增加, 它们包括: 独毛虫、奇异稚齿虫、中引虫、螻蛄虾、端足类等, 同时也分布着许多与盐度梯度成负相关的底栖动物种类, 其密度随盐度在一定范围内的增加而下降, 它们包括: 小头虫、短拟招螺等。例如, 1999 年 1 月 A、RB 和 ET 三断面独毛虫的平均密度分别为 246.5、59.5、17 个/m<sup>2</sup>, 而小头虫的平均密度分别为 76.5、178.5、357 个/m<sup>2</sup>。这有力地说明了盐度是导致深圳湾福田潮间带与香港米埔潮间带底栖动物群落结构组成差异的主要原因。另外, 从深圳湾内湾到河口(从 A 断面到 RB 和 ET 断面), 有机质的主要来源由水生生物来源逐渐变为人为污染源, 根据近年来我们在深圳湾的监测调查结果, 一般情况下, 有机质含量大小顺序为: 断面 ET > 断面 RB > 断面 A。小头虫等重污染带底栖动物能耐受较高的有机污染, 它们在河口的 ET 和 RB 断面的密度明显比湾内的 A 断面高, 而螻蛄虾等不耐污的种类, 在 3 个断面上的密度分布则刚好相反, 这也是造成 A 断面的底栖动物群落结构与 RB 和 ET 断面的底栖动物群落结构差异的另外一个原因。

2) 从等级聚类

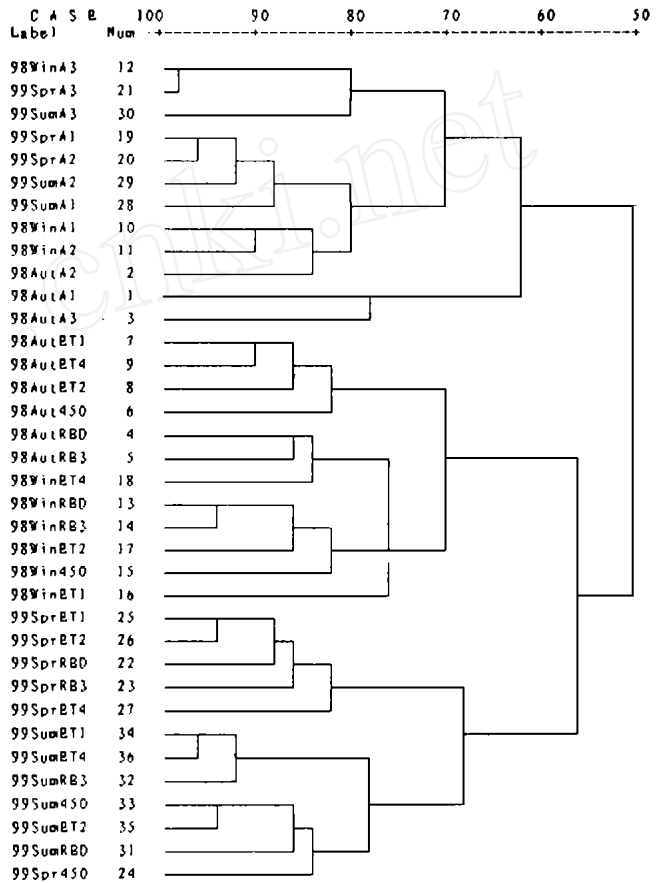


图 2 深圳湾 36 个底栖动物群落样方的等级聚类分析树状图

Fig 2 Dendrogram for hierarchical clustering of the 36 benthic community samples in Shenzhen Bay

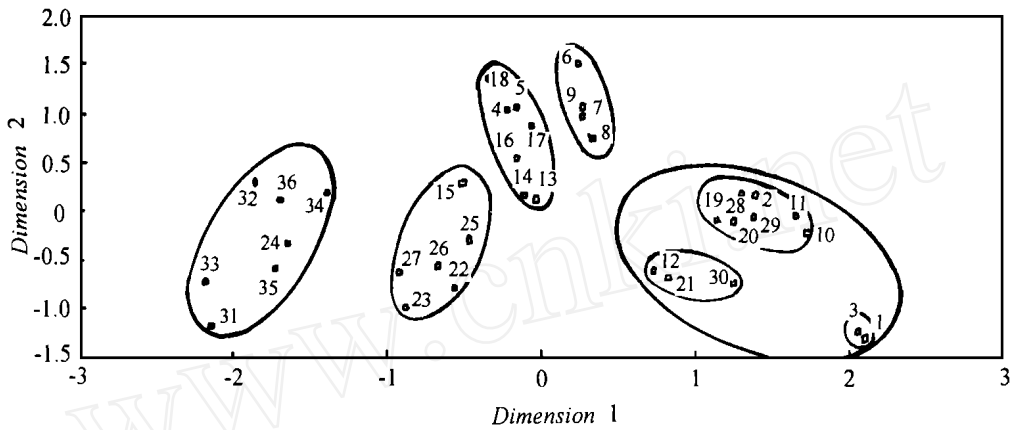


图 3 深圳湾 36 个底栖动物群落样方的 2 维非线性多维标度排序图 (stress= 0.1395)

Fig 3 2-dimensional MDS ordinal configuration of the 36 benthic community samples in Shenzhen Bay (stress= 0.1395)

分析的结果(图 2)和非度量多维标度排序分析的结果(图 3)还可看出,在 75% 的相似性水平下,除 1, 3 两个样方例外, A 1、A 2 站位不同季节取样样方聚成一组, A 3 站位不同季节取样样方聚成另一组,这一结果表明 A 断面中、低潮区底栖动物群落组成较相似,而与高潮区底栖动物群落组成差别较大,但在同一季节内的 RB 与 ET 断面上,各潮区底栖动物群落组成不呈现明显的差别。A 断面与 RB 和 ET 断面群落结构组成在各潮区表现出不同规律的原因可能是因为 A 断面的潮差较大,为 2.2 m 左右,而 RB 和 ET 断面潮差较小,为 1.3 m 左右,因而, A 断面内各站位较 RB 和 ET 断面内各站位的潮流动力学等环境因子变化差异较大,从而造成了上述现象的不同。3) A 断面 1, 3 两样方与其它样方群落组成差别较大,这与秋季月份 A 1 和 A 3 站位上出现较多的花冈钩毛虫和中引虫有关。

### 3.3 等级聚类与非线性多维标度在分析群落结构方面的比较

目前,依 Bray-curtis 相似性测度进行等级聚类分析方法在群落生态研究中常被采用。对于差异较大的样本群尤其适宜。MDS 也被认为是最好的排序技术之一,它用于分析不同样方群落结构相似性的关系十分适宜。对本文两种分析方法的结果(见图 2, 3)进行比较可以得出: 1) 在一定的相似性水平下,等级聚类分析把各个不同的样方分为几组,而 MDS 却以样本实体构成分离的点阵提供生态学分析。2) 当不同样方的群落结构存在一个连续稳定的梯度变化时,等级聚类分析就变得不太适用,而 MDS 的分析却能很好地揭示这种连续的梯度变化关系。3) K R Clarke<sup>[8]</sup>等认为,当用胁强系数(stress)来表征由 MDS 确定的  $n$  个初始排序点在多大程度上表示了  $n$  个实体的实际差异大小时: stress < 0.05 为吻合极好; stress < 0.1 为吻合较好; stress < 0.2 为吻合一般; stress > 0.3 为吻合较差。本文胁强系数 stress = 0.1395, 吻合一般。对照图 2 和图 3 可以看出, MDS 分析的结果和聚类分析的结果十分相似,因此,在 0.1 < stress < 0.2 的情况下, MDS 分析的结果与等级聚类分析的结果可以相互对照,这样得出的分析结论更具有实际生态学意义。

## 参考文献:

- [1] Young L, Melville D S. Conservation of Deep Bay environment. In: the marine biology of the South China Sea, edited by Morton [M]. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1993. 211- 231.
- [2] Robert W Smith, Brock B. Bernstein, and Robert L. Cimberg. Community-Environmental Relationships in the Benthos: Applications of Multivariate Analytical Techniques [C]. Hkust Library, 1987. 249- 250.
- [3] Morton B, Morton J. The Seashore ecology of Hong Kong [M]. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1983.
- [4] 蔡立哲, 周时强, 林鹏. 深圳湾福田潮间带泥滩大型底栖动物群落生态特点, 中国湿地研究和保护 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1998. 113- 121.
- [5] 蔡立哲, 林鹏. 深圳河口泥滩多毛类动物的生态研究 [J]. 海洋环境科学, 1998, 17(1): 41- 47.
- [6] 高世和, 李复雪. 九龙江口红树区底相大型地栖动物的群落生态 [J]. 台湾海峡, 1985, 4(2): 179- 191.
- [7] 蔡立哲, 林鹏. 深圳河口泥滩多毛类动物的生态研究 [J]. 海洋环境科学, 1998, 17(1): 41- 47.
- [8] K R Clarke & R M Warwick. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation [C]. Plymouth Marine Laboratory, 1994.

## Using Hierarchical Clustering and Non-metric MDS to Explore Spatio-temporal Variation of Benthic Community at Intertidal in Shenzhen Bay

LI Hong-mei<sup>1</sup>, CAI Li-zhe<sup>1</sup>, LI Li-zhu<sup>2</sup>, YAO Jian-bin<sup>2</sup>

(1. Res Cent of Envmt Sci, 2 Dept of Chem. Eng, Xiamen Univ., Xiamen 361005, China)

**Abstract** The spatio-temporal variation law of benthic community structure at Shenzhen Bay was studied, by using two multivariate statistic analytical techniques, Hierarchical Clustering and Non-metric MDS. The results indicated that: 1) There was distinct space difference in benthic community structure between Section A and Section RB or ET, which are located at Futian in Shenzhen and Mipu in Hong Kong separately. There was also distinct space difference in benthic community structure between high tide area and low tide area in Section A. 2) Benthic community impacted by seasons had obvious variation at Section RB and Section ET. Salinity and tides were likely to be two most important factors, which resulted in the above phenomena. The analytical results also show that where there was a steady gradation in community structure, Non-metric MDS can show this continuous variation more effectively than Hierarchical Clustering.

**Key words** Shenzhen Bay; spatio-temporal variation; hierarchical clustering; non-metric MDS