

环境因子对大亚湾人工鱼礁上附着生物分布的影响

张 伟, 李纯厚, 贾晓平, 陈丕茂, 方 良

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部海水养殖生态与质量控制重点开放实验室
农业部南海渔业资源重点野外科学观测试验站, 广州 510300)

摘要:通过对深圳大亚湾人工鱼礁区 7 个月(2008-04 ~ 2008-10)挂板实验,同时监测相应的环境因子指标。以附着生物丰度数据进行了除趋势对应分析(DCA),并根据附着生物丰度数据和 7 个环境因子进行了典范对应分析(CCA)。共鉴定出附着生物 54 种,物种鉴定结果表明实验试板上的常见种有华美盘管虫(*Hydroides elegans*)、三角藤壶(*Balanus trigonus*)、细肋肌蛤(*Musculus mirandus*)等。DCA 种类排序图可明显地看出每种附着生物都有自己的分布中心和分布区域;CCA 分析结果表明深度、透明度、溶解氧是影响附着生物群落变化的最主要环境因子,其次是盐度和温度。CCA 排序图较好地反映了人工鱼礁上附着生物分布与各环境因子的相互关系。

关键词:人工鱼礁;附着生物;环境因子;除趋势对应分析;典范对应分析

文章编号:1000-0933(2009)08-4053-08 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Canonical correspondence analysis between attaching organisms and environmental factors on artificial reef in the Daya Bay

ZHANG Wei, LI Chun-Hou, JIA Xiao-Ping, CHEN Pei-Mao, FANG Liang

South China Sea Fisheries Research Institute, Key Laboratory of Mariculture Ecology and Quality Control, Ministry of Agriculture, Key Field Scientific Experimental Station of South Sea Fishery Resource and Environment Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4053 ~ 4060.

Abstract: Studies of panel experiment for attaching organisms were carried out in the Daya Bay, ShenZhen from April to October in 2008, and related environmental factors were tested. Detrended Correspondence Analysis(DCA) was performed based on the data of density of attaching organisms, and the Canonical correspondence analysis(CCA) between the data of environmental factors and the density of attaching organisms was performed simultaneously. There were totally fifty-four species identified. Results showed that the most common genera were *Hydroides elegans*, *Balanus trigonus* and *Musculus mirandus*. The results of DCA indicated that each attaching organism had its own distribution region; the results of CCA indicated that followed by temperature and salinity, depth, transparency and dissolved oxygen were the dominate factors in the distribution of attaching organisms, and CCA taxis fairly reflected the correlation between the distribution of attaching organisms and environmental factors.

Key Words: artificial reef; attaching organisms; environmental factors; Detrended Correspondence Analysis; Canonical correspondence analysis

生态因子是指环境要素中对生物起作用的因子。环境中有多多种多样的生态因子作用于生物。每种因子不是孤立的、单独的存在,总是相互联系、相互制约综合性地对生物作用。生态因子有主次之分,并非等价的,

基金项目:国家 863 计划资助项目(2006AA100303);国家科技部科研院所社会公益研究专项资金资助项目(2005DIB3J020);国家公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(2007ZD003)

收稿日期:2008-12-05; 修订日期:2009-03-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: scslch@163.com

并有阶段性作用,有不可替代性和补偿性作用。

海洋附着生物群落的种类组成、数量变动受到各种生态因子的制约,在众多的因子中,往往有少数几个因子起主导作用。本文探讨了温度、盐度、透明度、溶解氧、pH、水深等因子对人工鱼礁上附着生物分布的影响。

除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)。与其他方法相比,它具有自身独特的优越性^[1]。它是以 CA/RA 为基础修改而成的一个特征向量排序,把第一轴分成一系列区间,在每一区间内将平均数定为零而对第二轴的坐标值进行调整,具体讲需将第一排序轴分成几个长度相等的区间,在每一区间内对第二轴的坐标值进行中心化,即将某个样方或种类在第二轴上的坐标值减去该样方或种类所在的区间内全部样方或种类在第二轴上坐标值的平均值。这一趋势过程基本消除了“弓形效应”的影响。

典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)是一种非线性多元直接梯度分析方法^[2],特点是可以结合多个环境因子一起分析,包含的信息量大,结果直观明显,从而更好地反映群落与环境的关系^[3]。典范对应分析应用于沉积物硅藻种群^[4]、浮游植物群落结构^[5]等与环境因子关系的研究已较为成功,但应用于附着生物与环境因子分析的研究尚未见报道。

本文运用除趋势对应分析(DCA)和典范对应分析(CCA)研究了人工鱼礁附着生物不同种群的梯度分布特征,揭示了其对环境、生物因子的响应规律,并分离出附着生物种群结构在这几种主导因子中的变化,探讨了附着生物生长分布与环境因子间的关系。以期为今后人工鱼礁附着生物的研究提供相应的理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与数据处理

1.1.1 生物样品

采用内置钢筋的混凝土(50cm×30cm×3.5cm)材料作为试验试板,试板吊挂位置见图1。

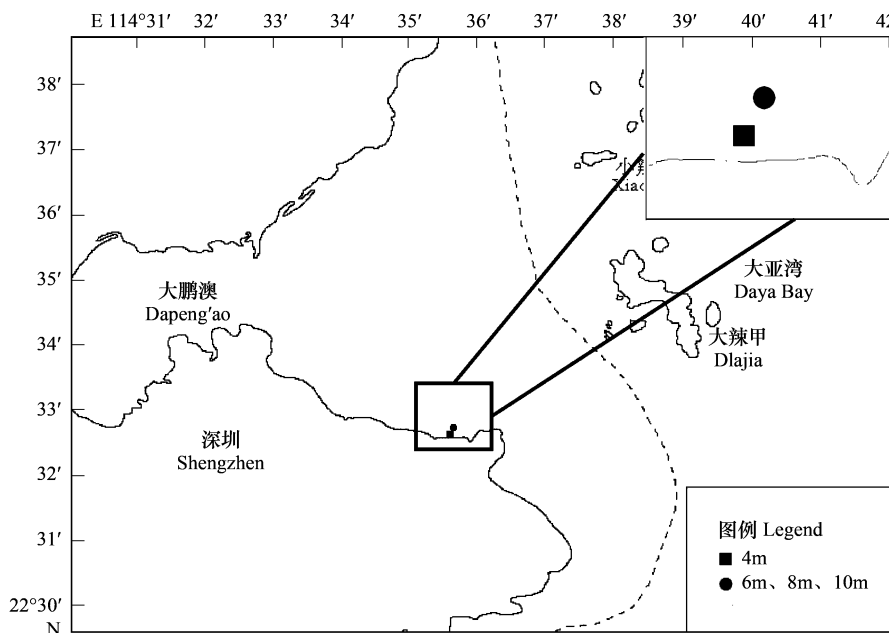


图1 大亚湾人工鱼礁实验试板投放位置示意图

Fig. 1 Sampling stations for experimental trial plates in artificial reefs of Daya Bay

在拟研究礁区投放实验挂板。一是把实验试板吊挂在一块附着生物实验试板固定架上,投放于礁区附近的4m水深处。另一是把混凝土试板直接吊挂在人工鱼礁礁体上,从6m开始挂,使挂板分别处于6、8m和10m。实验7个月,分别在1个月、3个月、4个月、6个月、7个月后采样,通过潜水员将水中的实验试板提出水面进行采样,采样使用10cm×10cm(面积0.01m²)的采样框进行,把采样框内的生物样品全部取出装瓶,样品用5%的福尔马林溶液固定带回实验室鉴定分析。5次采样共得到17个样品(最后1次采样只剩下1个样

品),按4月、6月、7月、9月、10月的顺序依次编号。获得附着生物数量的分类统计参照 Pastula^[6] 和黄宗国^[7] 提出的方法进行,以便于比较研究。

1.1.2 环境因子

选择温度(Temp)、盐度(Sal)、透明度(Tran)、溶解氧(DO)、pH、叶绿素(Chla)、水深(Depth)共7个指标作为环境变量进行排序。环境因子指标的编号同生物样品。

温度、盐度、溶解氧、pH 利用 YSI 556MPS 多参数水质分析仪测定,透明度利用透明度盘测定,叶绿素采样后用分光光度法测定。

1.2 分析方法

分析监测结果得到2个数据矩阵,分别是物种丰度矩阵和环境矩阵。物种数据要经过筛选,本文用于梯度分析的附着生物物种要求该物种在各样品出现的频度 >3 ,在至少一个样品的相对丰度 $>1\%$ 。满足这两点要求的物种才能进入分析矩阵。同理样品也需满足以上要求,如果某个样品中鉴定出的物种数低于3种,则该样品不进入 CCA 分析。物种矩阵经过 $\log(x+1)$ 转换后按康奈尔数据文件格式录入成“.dta"文件;环境数据除了 pH 值以外都要进行 $\log(x+1)$ 转换,再进行标准化处理,录入成“.dta"文件。应用国际标准通用软件 CANOCO4.5 进行运算,作物种丰度-环境 CCA 分析。将生成的数据文件“.sol"应用 CANODRAW4.5 作物种-环境因子关系的双序图。

2 试验结果与分析

2.1 附着生物种类分布

17 个样品共鉴定出附着生物 54 种,其中,藻类 1 种,海绵动物 1 种,腔肠动物 2 种,扁形动物 2 种,环节动物 14 种,软体动物 15 种,节肢动物 11 种,棘皮动物 3 种,苔藓虫 1 种,被囊动物 4 种。常见种有华美盘管虫(*Semiserpula nanhaiensis*)、三角藤壶(*Balanus trigonus*)、细肋肌蛤(*Musculus mirandus*)、海月(*Placuma placenta*)、多室草苔虫(*Bugula neritica*)、旋鳃虫(*Spirobranchus giganteus*)、冠瘤海鞘(*Styela canopus*)和毛偏顶蛤(*Modiolus barbatus*)等。其中,华美盘管虫在 17 个样品中出现频率达到 11 次,而三角藤壶和细肋肌蛤出现频率也达到 10 次之多。表 1 中给出了人工鱼礁实验试板上附着生物种类名录。

2.2 理化指标

实验期间(2008 年 4 月 23 日至 2008 年 10 月 21 日),4 月、6 月、7 月、9 月、10 月份平均水温分别为 23.66、26.60、23.95、28.04、27.27℃;平均盐度分别为 33.59、30.63、32.61、31.50、31.07;平均透明度分别为 2.9、1.7、1.7、2.7、1.5m;平均溶解氧分别为 6.62、4.35、4.09、5.98、5.84 mg/L;平均 pH 分别为 8.06、7.81、7.88、8.12、7.98;平均叶绿素分别为 2.67、2.67、4.35、4.94、1.62 $\mu\text{g/L}$ 。

2.3 附着生物种群的除趋势对应分析(DCA)

图 2 是人工鱼礁实验试板上附着生物物种在 DCA 种类排序图中的分布。由图 2 可以看出,红巨藤壶位于 DCA 排序图的最左端;同样冠瘤海鞘位于 DCA 排序图的最下方,而背裂虫位于 DCA 排序图的最上方。

图 2 中每种附着生物都有自己的分布中心和分布区域,这是由各自适宜生存的环境条件决定的。背裂虫因生活于比较浅的水层而位于排序轴最上方;而冠瘤海鞘因生活于比较深的水层而位于排序轴最下方;红巨藤壶喜透明度高而位于排序轴最左端;多室草苔虫、叶须虫、华美盘管虫等适应性强,有着广阔的生存空间,因而位于排序图较为中心的位置。总之,DCA 第一轴从左到右,附着生物由耐低透明度的逐渐向喜高透明度的过渡;第二轴从下到上,附着生物种由生活于深水层的种类向生活于浅水层的种类逐渐过渡。

2.4 附着生物与环境因子的典范对应分析(CCA)

2.4.1 CCA 相关系数

表 2 是 CCA 4 个排序轴与环境因子的相关系数。可以看出,第一排序轴与透明度相关性最好,相关系数为 0.6125,为正相关;第二排序轴与深度具有较高的相关性,相关系数为 -0.6744,为负相关;第三排序轴与盐度具有较高的相关性,相关系数为 -0.5963;第四排序轴与温度有较高的相关性,相关系数为 -0.5602。

表 1 人工鱼礁附着生物种类名录

Table 1 Catalogue of species of attaching organisms of artificial reef

物种 Species	学名缩写 Scientific name abbreviation	物种 Species	学名缩写 Scientific name abbreviation
条浒苔 <i>Enteromorpha clathrata</i>	<i>EnteClat</i>	变化短齿蛤 <i>Brachidontes variabilis</i>	<i>BracVari</i>
曲膝数枝螳 <i>Obelia geniculata</i>	<i>Obelgeni</i>	纹斑梭蛤 <i>Trapezium liratum</i>	<i>TrapLira</i>
双叉数枝螳 <i>Obelia dichotoma</i>	<i>ObelDich</i>	翡翠贻贝 <i>Perna viridis</i>	<i>PernViri</i>
柄涡虫 <i>Stylochus ijimai</i>	<i>StyllJim</i>	光石蛭 <i>Lithophaga teres</i>	<i>LithTere</i>
外伪角涡虫 <i>Pseudoceros exoptatus</i>	<i>PseuExop</i>	双纹须蚶 <i>Barbatia bistrigata</i>	<i>BarbBist</i>
华美盘管虫 <i>Hydroides elegans</i>	<i>Hydreleg</i>	马特海笋 <i>Martesia striata</i>	<i>MartStri</i>
真齿沙蚕 <i>Nereis neoneanthes</i>	<i>Nereneon</i>	海月 <i>Placuma placenta</i>	<i>PlacPlac</i>
叶须虫 <i>Phyllodoce laminosa</i>	<i>Phyllami</i>	三角藤壶 <i>Balanus trigonus</i>	<i>BalaTrig</i>
雾海鳞虫 <i>Halosydna nebulosa</i>	<i>HaloNebu</i>	红巨藤壶 <i>Megabalanus rosa</i>	<i>Megarosa</i>
渤海格鳞虫 <i>Gattyana pohailnsis</i>	<i>GattPoha</i>	纹藤壶 <i>Amphibalanus amphitrite</i>	<i>AmphAmph</i>
多齿沙蚕 <i>Nereis multignatha</i>	<i>Neremult</i>	强壮板钩虾 <i>Stenothoe</i> sp.	<i>StenSp</i>
异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>	<i>LumbHete</i>	日本片钩虾 <i>Elasmopus japonicus</i>	<i>ElasJapo</i>
棒手拟隐鳞虫 <i>Hermadionella truncata</i>	<i>HermTrun</i>	尖额麦杆虫 <i>Caprella penantis</i>	<i>Caprpena</i>
旋鳃虫 <i>Spirobranchus giganteus</i>	<i>SpirGiga</i>	长颈麦杆虫 <i>Caprella equilibra</i>	<i>CaprEqui</i>
亚洲哈鳞虫 <i>Harmothoe asiatica</i>	<i>HarmAsia</i>	大螯蜚 <i>Jassa</i> sp.	<i>JassSp</i>
背裂虫 <i>Opisthosyllis brunnea</i>	<i>OpisBrun</i>	东海铠甲虾 <i>Galathea balssi</i>	<i>GalaBals</i>
丝纓虫 <i>Hypsicomus phaeotaenia</i>	<i>HypsPhae</i>	鼓虾 <i>Alpheus</i> sp.	<i>AlphSp</i>
伪豆维虫 <i>Dorvillea pseudorubrovittata</i>	<i>DoruPseu</i>	锯额瓷蟹 <i>Pisidia serratifrons</i>	<i>PisiSerr</i>
乳蚕虫 <i>Thelepus</i> sp.	<i>ThelSp</i>	砂海星 <i>Luidia quinaria</i>	<i>LuidQuin</i>
史氏背尖贝 <i>Notoamea schrencki</i>	<i>NotoSchr</i>	真蛇尾 <i>Ophiura</i> sp.	<i>OphiSp</i>
美丽唇齿螺 <i>Engina pulchra</i>	<i>EngiPulc</i>	细雕刻肋海胆 <i>Temnotliurus toreumaticus</i>	<i>TemnTore</i>
湖北钉螺 <i>Oncomelania hupensis</i>	<i>OncoHupe</i>	多室草苔虫 <i>Bugula neritina</i>	<i>BuguNeri</i>
甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	<i>CantCeci</i>	玻璃海鞘 <i>Ciona intestinalis</i>	<i>CionInte</i>
珠带拟蟹守螺 <i>Cerithidea cingulata</i>	<i>CeriCing</i>	皱瘤海鞘 <i>Styela plicata</i>	<i>StyePlic</i>
粗糙真蹄螺 <i>Euchelus scaber</i>	<i>EuchScab</i>	冠瘤海鞘 <i>Styela canopus</i>	<i>StyeCano</i>
细肋肌蛤 <i>Musculus mirandus</i>	<i>MuscMira</i>	乳突皮海鞘 <i>Molgula manhattensis</i>	<i>MolgManh</i>
毛偏顶蛤 <i>Modiolus barbatus</i>	<i>ModiBarb</i>		

2.4.2 CCA 排序

一共有 16 个样品,20 种附着生物满足筛选条件进入梯度分析。CCA 分析结果用双序图表示(图 3)。其中,箭头表示环境因子,箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间的正负相关性,箭头连线的长度代表着某个环境因子与群落分布和种类分布之间相关程度的大小,连线越长,相关性越大;反之越小。箭头连线与排序轴的夹角代表着某个环境因子与排序轴的相关性大小,夹角越小,相关性越高;反之越低^[8]。

CCA 第一、二排序轴表明:深度因子的箭头长度明显大于其它环境因子,并且深度因子与第二排序轴的夹角较小,说明深度对该人工鱼礁附着生物群落和

物种分布有着重要的影响。因此,可以认为 CCA 第二排序轴是一个深度梯度变化轴,沿该轴方向深度有降低趋势。沿第一排序轴方向,透明度的箭头长度较长,夹角较小,反映了透明度因子对群落分布和物种组成的影

表 2 典范对应分析(CCA)排序轴与环境因子相关系数

Table 2 Axes-environment correlation coefficients of CCA

环境因子 Environmental factors	SPEC AX1	SPEC AX2	SPEC AX3	SPEC AX4
Depth	-0.1964	-0.6744	-0.4557	-0.2497
Temp	-0.3271	0.337	0.3286	-0.5602
Sal	0.4091	0.0464	-0.5963	0.1992
Tran	0.6125	-0.0916	-0.1506	0.0012
DO	0.4594	0.5459	0.1547	-0.4517
pH	-0.0346	0.3498	-0.3884	-0.5256
Chla	-0.2705	-0.1069	0.1517	-0.3259

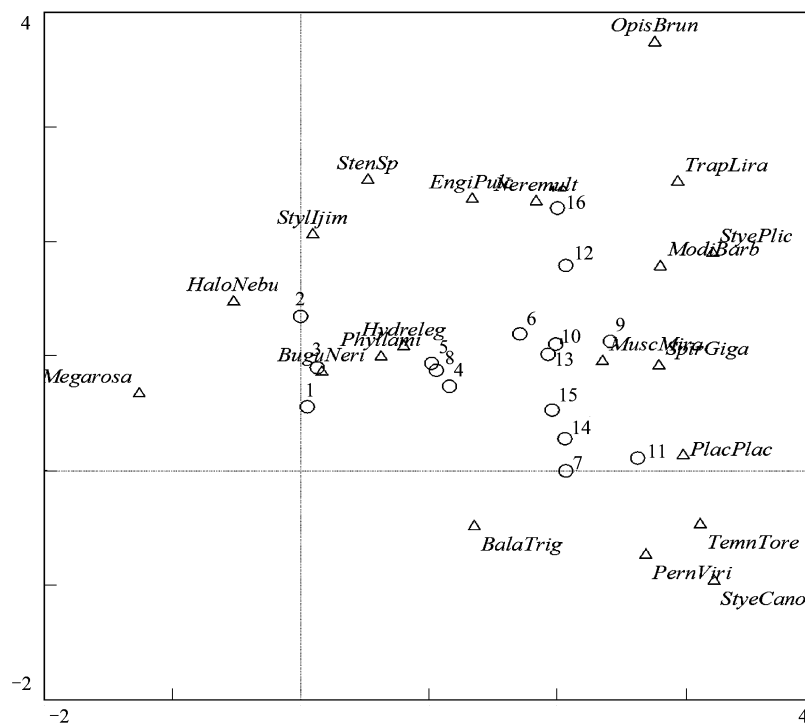


图2 种群多度除趋势对应分析排序图

Fig. 2 Ordination biplots of species density

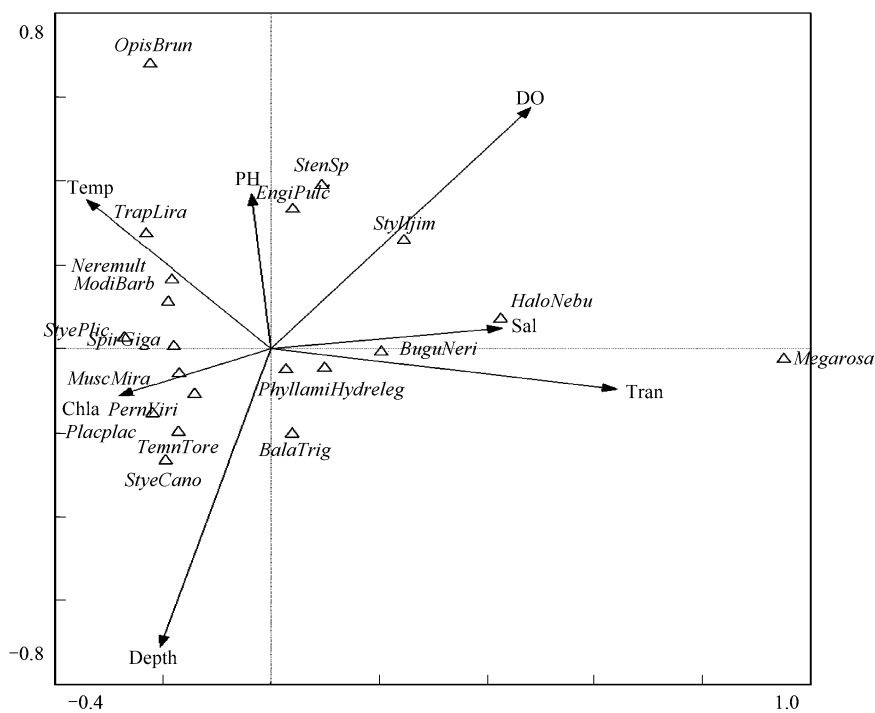


图3 种群多度与环境因子典范对应分析的双轴排列图

Fig. 3 Ordination biplots of species density and Environmental variable

响,其次为溶解氧因子。因此,CCA 第一排序轴是一个透明度、溶解氧梯度变化轴。

从图 3 中可以看出,深度、透明度、溶解氧是附着生物群落变化的最主要的影响因子,其次是盐度和温度。

第一轴基本上反映了附着生物群落在透明度梯度上的变化,即沿 CCA1 从左向右,透明度逐渐升高,透明度与 CCA 的相关系数为 0.6125;第二轴基本上表现出附着生物群落在深度和溶解氧梯度上的变化趋势,其环境因子与 CCA2 的相关系数分别为 -0.6744 和 0.5459,说明沿 CCA2 由上向下,深度增加、溶解氧下降。可见,CCA 排序图很好地反映了人工鱼礁上附着生物分布与各环境因子的相互关系。

2.5 DCA 和 CCA 的比较

DCA 排序的数据源为种类组成数据,而 CCA 则使用两个数据矩阵即:种类数据矩阵和环境因子矩阵,它有利于排序轴生态意义的解释。

从表 3 可以看出,DCA 排序的特征值高于 CCA,但 CCA 排序中环境轴与种类排序轴的相关系数高于 DCA 排序,这是因为 CCA 排序图中采用的排序轴是由所测定环境因子的线性组合得到,即所谓的“环境约束”,因此 CCA 的应用突出反映了种与环境的相关性。

表 3 DCA、CCA 排序轴特征值及种-环境相关系数

Table 3 Eigenvalues and species-environment correlation coefficients for the four axes of DCA and CCA

项目 Item		Axis1	Axis2	Axis3	Axis4
特征值	DCA	0.409	0.216	0.087	0.047
Eigenvalues	CCA	0.365	0.219	0.182	0.129
种与环境的相关系数	DCA	0.913	0.909	0.828	0.742
Species-environment correlation coefficients	CCA	0.955	0.949	0.884	0.936

3 讨论

3.1 水深与附着生物的关系

水深与丰度排序轴的第二轴具有最高的相关性,同时与附着生物分布具有较高负相关,表明水深对附着生物生长具有重要影响。已有的调查研究表明^[9],附着生物的着生量受水深、透明度、种质等的影响,一般情况下,由于鱼礁的上表面及侧面上部光照强,所以着生量较大,水深较浅的水域着生量也较大;A. Moura 等^[10]研究了深度对人工鱼礁上附着生物的影响,多元分析结果表明深度影响附着生物的分布。大螯蜚和多室草苔虫主要分布在 16m 水深处,特别是在礁体的上表面,然而,不等蛤主要分布在 20m 水深处,尤其是在礁体的下表面。

从图 3 可见分布在 DO 和 pH 值较高区域的附着生物多处于水深较浅的水域,即 DO 和 pH 值对于附着生物的影响与水深等水文因素相反。

3.2 透明度与附着生物的关系

海水的透明度,通常接近大陆的海水透明度较小,因为近岸海区水的搅动较为厉害,另外浮游植物大量繁殖也会降低海水的透明度。远离大陆,透明度则增大。此外,由于太阳辐射强度有日变化和季节变化,海水中的悬浮物质和浮游生物也不是恒定的,因此,海水的透明度也有日变化、季节变化和不规则变化等。从 CCA 排序图可以看出,透明度与第一排序轴具有很高的相关性,且呈明显的正相关,表明透明度对附着生物生长也具有相当重要的影响。安永义幅^[11]等研究认为附着动物的着生量,在透明度高、底质较粗、流速较快的水域中较大。

3.3 盐度与附着生物的关系

盐度是影响海洋生物生存以及生长发育的重要因素。盐度的变化对附着生物分布也存在着显著的影响,随着海区盐度的变化附着生物的种类组成和数量也会发生变化。水生动物的分布、种群形成和数量变动都与水体中含盐量的情况和动态特点密切相关。渗透压调节可以限制体表对盐类和水的通透性,通过逆浓度梯度主动地吸收或排出盐类和水,改变所排出的尿和粪便的浓度与体积。

盐度太低,不利于藤壶的新陈代谢活动,使藤壶附着和生长受到抑制。尽管翡翠贻贝属亚热带和热带种类,南海的温度条件足可以满足它的分布要求,但由于翡翠贻贝幼体不能在高盐水域生长发育,限制了它的广

泛分布仅局限于沿岸一带。因此,认为盐度是影响翡翠贻贝分布的关键因子^[12]。CCA 分析的结果验证了这一结论,说明每种附着生物都有各自的盐度范围。

3.4 温度与附着生物的关系

温度是决定附着生物的地理分布最主要外界环境因子;温度又与附着生物的生长、发育和附着季节紧密相关。CCA 排序图中看出,温度与第四排序轴有很高的相关性,呈明显的负相关,沿 CCA4 由上向下,温度降低。黄梓荣等^[13]的研究表明,随着海水温度的降低,珠江口东澳岛海区礁体上的附着生物种类发生变化,礁区夏季优势种网纹藤壶(*Balanus reticulatus*)会老化并自然脱落,取而代之的是冬季优势种翡翠贻贝(*Perna viridis*)幼体。Callow^[14]认为,各种生物的附着季节还反映了其种类的温度属性,如致密藤壶(*Balanus improvisus*)是温带种,5 月份开始附着,6 月份即达到高峰;网纹藤壶是暖、温带广分布种,6 月份才开始少量附着,9 月份达到高峰。

3.5 DCA 与 CCA 排序图比较

本文 CCA 排序研究表明,对于特定的研究海区,制约附着生物群落类型、附着生物种分布格局的主要因素是水深。因此,对于本研究范围,水深从浅到深,也反映了人类干扰这一因子逐渐减弱的梯度。

CCA 排序结果表明,与 DCA 相比,16 个样品 20 种附着生物在 CCA 排序中的分布格局要更加紧凑、集中,而且同一群落的各样品和具有类似生境的附着生物种在各自的排序图中更加聚集。

CCA 的排序轴不仅反映样品间在种类组成上的相似性,而且反映样品间在环境因子组成上相似性,而这两种相似性往往相互联系。一般来讲,种类组成接近的附着生物群落,在其环境因子组成上也较接近,这是由附着生物种、附着生物群落和环境因子之间相互作用的生态关系所决定的,因此表现在排序图中样品、种更加集中,群落间的界线变得更加模糊。

References:

- [1] Zhang J T. Methods in quantitative vegetation ecology. Beijing: China Science and Technology Press, 1995.
- [2] Ter Braak, C J F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis. Ecology, 1986, 67(5): 1167—1179.
- [3] Ter Braak, C J F, Šmilauer P. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca NY, USA: Microcomputer Power, 2002.
- [4] Erik J E, Jane L T, Chad A W, et al. Diatom assemblage response to Iroquoian and Euro-Canadian eutrophication of Crawford Lake, Ontario, Canada. Journal of Paleolimnol, 2007, 37(2): 233—246.
- [5] Luan Q S, Sun J, Song S Q, et al. Canonical correspondence analysis of summer phytoplankton community and its environment in the Yangtze River estuary China. Journal of Plant Ecology: Chinese Version, 2007, 31(3): 445—450.
- [6] Pastula E J. World atlas of coastal biological fouling. USA Naval Oceano. Office, IR, 1970: 51—70.
- [7] Huang Z G, Cai R X. Marine fouling organism and antifouling (volume 1). Beijing: Ocean Press, 1984. 352.
- [8] Guo X Y, Zhang J T, Gong H L, et al. A study on gradual change of the dominant species' niche in the process of vegetation restoration of Antaibao mine. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24(12): 2329—2334.
- [9] Kakimoto H. Artificial fish reefs in Japan sea costal regions // The seventh Japan-soviet joint symposium on aquaculture. Tokai University, 1979: 103—109.
- [10] Moura A, Boaventura D, Curdia J, et al. Effect of depth and reef structure on early macrobenthic communities of the Algarve artificial reefs (southern Portugal). Hydrobiologia, 2007, 580(1): 173—180.
- [11] An Y Y F, Nai W J W, Ri T Y C, et al. Environmental changes in parallel with artificial fishing reef fish ecology group. Institute of Fisheries Engineering Research Report, 1989, 10: 1—35.
- [12] Luo Y S. Mussel culture technology. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Press, 1983.
- [13] Huang Z R, Liang X Y, Zeng J. Preliminary study on effects of accrete organisms of artificial reef material. South China Fisheries Science, 2006, 2

(1):34—38.

- [14] Callow M E. A world-wide survey of fouling on non-toxic and there anti-fouling. 6th International Congress on Marine Corrosion and Fouling (Marine Biology), 1984:325—346.

参考文献:

- [1] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京:中国科学技术出版社,1995.
- [5] 栾青杉,孙军,宋书群,等. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析. 植物生态学报,2007,31(3):445~450.
- [7] 黄宗国,蔡如星. 海洋污损生物及其防除(上册). 北京:海洋出版社,1984. 352.
- [8] 郭道宇,张金屯,宫辉力,等. 安太堡矿区植被恢复过程主要种生态位梯度变化研究. 西北植物学报,2004,24(12):2329~2334.
- [11] 安永义幅,乃万俊文,日向野純也,等. 並型人工魚礁における環境変動と魚群生態. 水産工学研究所研究報告,1989,10:1~35.
- [12] 罗有声. 贻贝养殖技术. 上海:上海科学技术出版社,1983.
- [13] 黄梓荣,梁小芸,曾嘉. 人工鱼礁材料生物附着效果的初步研究. 南方水产,2006,2(1):34~38.