

丰度生物量比较法应用局限性

The limitations of abundance biomass comparison method

曲方圆, 于子山, 隋吉星, 刘卫霞, 张志南

(中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003)

中图分类号: Q178.535

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2009)06-0118-04

丰度生物量比较法 (Abundance Biomass Comparison, 以下简称 ABC 方法) 是利用底栖生物群落结构的特征来监测海洋环境污染的状况, 由英国学者 Warwick^[1] 于 1986 年提出。该方法因具有原理简单、统计计算简便、无需参照点对比、结果易于分析等优点^[2], 在国际国内得到了广泛的应用, 取得了良好的效果^[3~18], 并成为国内利用底栖生物进行污染监测的一种常规方法。然而自 ABC 方法提出后, 陆续有许多国外学者报道了此方法在实际应用中存在的种种局限性, 而国内学者在应用此方法时, 大多没有考虑其局限性, 仅有很少的学者对其不足有所提及^[19,20], 而且很不全面。为此, 作者将国外有关 ABC 方法局限性及相应改进方法的研究加以综述, 以期为人们了解此方法的局限性并正确使用, 提供参考。

1 ABC 方法的原理

ABC 方法的原理是基于 Connell 的中度扰动假说^[21]和 Huston 的种类多样性假说^[22]; 在稳定的未受扰动的底栖生物群落中, 由于种间的竞争, 少数大个体的保守种在生物量上占据优势, 而各种小个体的机会种 (通常是小的多毛类动物) 则在丰度上占据优势, 但个体数在种间的分布比生物量在种间的分布要平均, 即: 生物量的优势度高于丰度; 受到扰动之后, 保守种由于对扰动敏感而首先受害, 小个体的机会种则因繁殖快、对扰动的适应强, 而在数量上大幅增加, 此时丰度优势度上升, 生物量优势度下降; 随着扰动的加剧, 丰度优势度会超过生物量, 此时群落就处于严重扰动阶段。总之, 丰度与生物量的优势度在受到扰动后, 具有相反的变化趋势, 通过对两者的比较可以反映群落受扰动的程度。

ABC 方法的具体做法, 是将生物量和丰度的 k -优势曲线^[23]绘制在同一张图中进行比较。如果从始至终, 生物量曲线位于丰度曲线之上, 则为未受扰动; 相反, 则为严重扰动; 而两曲线有交叉或重叠则为中度扰动。需要注意的是, ABC 曲线只是将两个

k -优势曲线绘制在一起, 生物量曲线的第 i 种与相应的丰度曲线的第 i 种并不一定是同一种。ABC 曲线可以通过英国普利茅斯海洋研究所研发的 Primer 软件实现。

2 ABC 方法在应用中存在的局限性

2.1 非多毛类小个体对于 ABC 方法的影响

由 ABC 方法的原理可知, 扰动产生后, 小个体耐污种大量出现, 使得丰度的优势度上升。如果在非污染区存在大量非耐污种的小个体, 必然也会增加丰度的优势度, 使 ABC 图形所显示的污染程度增加, 从而得出错误的结论。

Beukema^[12]在对荷兰 Wadden Sea 潮滩的研究中发现, 在无污染区, 由于存在大量不定时出现的小型软体动物鳃螺 (*Hydrobia ulvae*), 而使 ABC 图形指示了污染。Dauer^[14]在研究美国 Chesapeake Bay 河口区时, 也发现在非污染区, 由于非多毛类小个体的大量繁殖而使 ABC 图形指示了污染。Teixeira, Ibanez 与 Puente^[15,24,25]也发现了同样的现象。

针对这一问题, Warwick^[26]对 50 个不同扰动程度的大西洋东北部站位进行研究, 指出当污染程度加重, 丰度和生物量优势度变化相反的内在原因为: (1) 群落中不同门类之间比例的变化; (2) 环节动物 (尤其是多毛类) 丰度与生物量在种间分布的改变, 这种改变不存在于其他的重要门类如: 软体动物、甲壳类和棘皮动物中。

收稿日期: 2008-06-18; 修回日期: 2009-03-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40730847); 国家自然科学基金项目 (40576061); 908 专项: 北黄海水体环境调查与研究 (908-01-ST02)

作者简介: 曲方圆 (1984-), 女, 山东青岛人, 硕士生, 研究方向为海洋底栖生物生态学, 电话: 0532-82031938, E-mail: qfy4@163.com; 于子山, 通信作者, 副教授, 电话: 0532-82031938, E-mail: yu_zishan@ouc.edu.cn

多毛类丰度与生物量在种间分布的改变,体现在大个体种被小个体种所替换,这就是丰度优势度上升并最终超过生物量优势度的根本原因。但其他门类的变化不一定符合这个规律,不过在大多数情况下,其他门类变化的总和会增强这种趋势,从而产生最终的指示出污染的 ABC 图形。因此,Warwick 提出,对于非多毛类小个体在丰度上占据优势的情况要格外谨慎,此时 ABC 曲线所指示出的“污染”很有可能是错误的。此外,由于其他门类的变化不一定遵循 ABC 原理,因此不可以对单独门类使用 ABC 方法。至于能否对多毛类单独使用 ABC 方法,尚未见研究报道。

2.2 大个体种对 ABC 方法的影响

Weston 在研究美国 Puget Sound 养殖场周围海域有机质富集对底栖生物群落结构的影响时,发现有机质接近最富集的区域存在较大个体的多毛类动物:短尾阿曼吉虫 (*Armandia brevis*)。并且相对有机质非富集区,在有机质富集区,许多机会种如小头虫 (*Capitella capitata*),其个体明显增大。研究者对此解释为:有机质富集区能提供更多的食物来源,因此适应有机质富集的耐污种能够得到较好的生长条件^[27]。但这是与 ABC 原理相悖的。

另外,由于大个体生物的数量少,因此采获与否的偶然性很大。而 ABC 所依赖的原理便是大个体种在数量上不占优势,因此要获得准确的信息,往往需要较大的样方,这就会大大增加实际工作量^[19]。

2.3 自然环境变化对 ABC 方法的影响

ABC 方法对于自然环境变化以及人为干扰是同样敏感的,但此方法本身无法分辨这两种扰动^[28]。因此,对于由于自然环境变化快、环境压力大,使得底栖生物群落结构不能达到平衡状态的情形,在未受人为污染时,其 ABC 图形也已指示出了压力的存在,那就难以分辨压力是来自环境自身变化还是人为干扰。

Meire^[29]发现,在未受污染的潮滩,从低潮带到高潮带,随着潮滩暴露时间的延长,ABC 图形逐渐由无污染转向中度甚至严重污染。

因此,在自然环境变化较剧烈的海域(如潮滩,河口等),应用 ABC 方法存在一定的局限性。

2.4 ABC 方法在硬底环境下的局限性

海底环境一般分为软底和硬底,软底是指泥、砂或泥砂质底,硬底则是指岩石底。硬底环境的底栖生物种类组成与软底有一定的差别。在软底环境中,多毛类大都为优势种^[30]。而在硬底环境中,优势种多为固着生长的海绵动物、水螅和藤壶等,多毛类的优势地位下降,并且其数量还与藻类有一定关系^[13,31,32]。

目前,ABC 方法大多被应用于软底环境。Pagola^[13]尝试将 ABC 方法应用于硬底环境,结果并不理想。原因是多毛类所占比例的减少和硬底环境下生

物生活方式、生物应对污染的对策等,与软底可能有所不同。因此,关于硬底环境下 ABC 方法的适用性,还有待进一步的探索。

2.5 ABC 方法在种类数量过少区域的局限性

种类数量过少的情况,通常出现在污染最为严重的区域,种类数量经常低于 10 种。在这种情况下,群落中会由某种动物,一般为小头虫,同时占据绝对的丰度与生物量优势,这与 ABC 原理是相悖的。

叶立勋^[19]研究了澳大利亚一个鳟鱼养殖场中由高密度网箱养鱼诱发的有机质污染情况。在离网箱最近的站位 A 中,只采到 7 种生物,小头虫占据绝对优势,丰度和生物量优势度分别为 94.5% 和 98%,其他种类对 ABC 图形的影响微不足道。得到的 ABC 图形如图 1 所示。

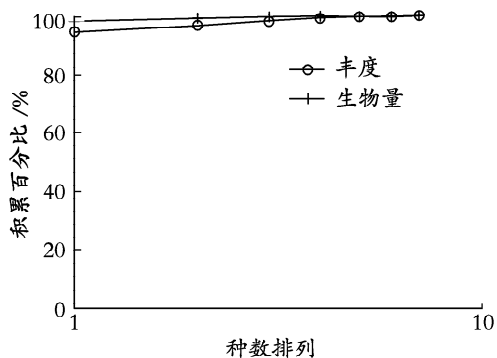


图 1 A 站位 ABC 曲线

由图 1 可知,生物量曲线位于丰度曲线之上,如果按照 ABC 原理解释,这是无污染的情况,这明显是与事实不符。其他研究者也提出过同样的问题^[27,29]。由此可见,在种类数极少、单一种个体占据绝对优势的情况下,不宜使用 ABC 方法。

2.6 ABC 方法对于非有机质污染的适用性

迄今为止,在绝大多数情况下,ABC 方法是被应用于有机质污染监测,而应用于其他污染的研究很少。DelValls^[33]曾将 ABC 方法应用于重金属污染监测,但结果并不理想。原因可能是不同类型的污染物对生物体影响机理不同,生物的反应也有所差异,因此,对于非有机质污染中 ABC 方法的适用性,还有待进一步研究。

3 对 ABC 方法的改进

针对上文所述的 ABC 方法的局限性,在某些情况下,可以通过对数据的处理,来解决相应的问题。

3.1 部分优势度曲线 (partial dominance curve)

非多毛类小个体以及大个体对 ABC 图形的影响,反映出了 ABC 方法对第一序列种 (first ranked specie) 的过度依赖,这个问题可以通过使用部分优

势度曲线来解决。其基本的思路是,移除第一序列种后,从第二序列种往后的 ABC 图形的形状不会发生改变。因此,从第二序列种开始计算每种相对于其后所有种(包括本种自身)的优势度,将得出的数值,对种的对数序列作图,即得到部分优势度曲线^[34]。

以 a_i 为第 i 种的丰度或生物量的绝对值或百分比, S 为总种数, p_i 为相应的丰度或生物量的部分优

势度值,则:

$$p_1 = 100a_1 / (\sum_{i=1}^s a_i), p_2 = 100a_2 / (\sum_{i=2}^s a_i),$$

$$\dots p_{s-1} = 100a_{s-1} / (a_{s-1} + a_s)$$

部分优势度曲线可在 Primer 中实现,图形如图 2 所示,虽然它的图形与标准 ABC 曲线相差较大,但解释的方法是相同的。

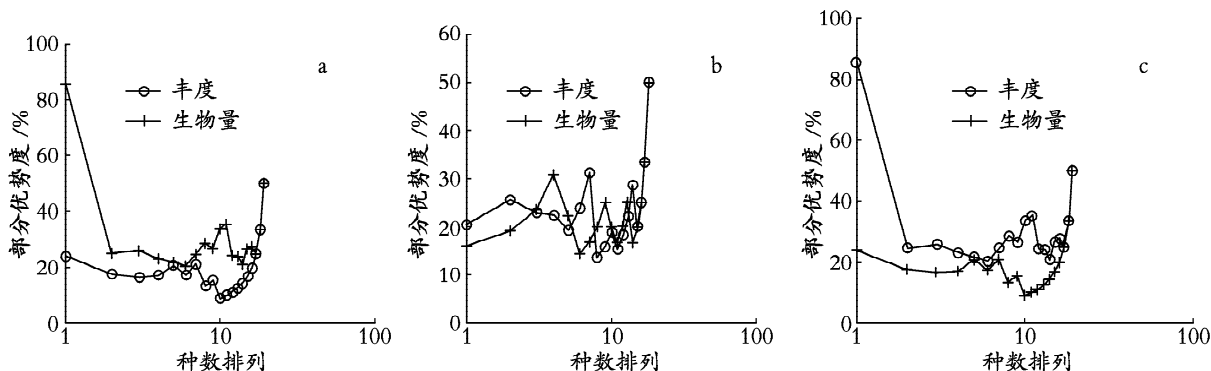


图 2 部分优势度曲线
a. 未受扰动; b. 中度扰动; c. 严重扰动

3.2 在更高分类阶元上应用 ABC 方法

一些研究指出,人为干扰所引起的群落结构改变通常在较高的分类阶元上(如科或科以上)表现出来;而自然变化所引起的改变,通常只会影响到较低的分类阶元(如种的替换)^[35]。因此,将分类阶元提高到科以上来使用 ABC 方法,即仅将底栖生物鉴定到科或科以上的分类阶元,将有助于去除自然环境的干扰,并且不会造成信息的损失^[36,37],这也会大大降低分类工作的难度和时间的耗费^[36]。Warwick 研究指出,在科这一分类阶元上应用 ABC 方法,取得了较好的结果^[38]。但是,目前对于提高分类阶元应用 ABC 方法的合理性仍存在一些争议^[37],亦即对于“分类充分性”(Taxonomic sufficiency)这一概念在生态学中的应用,还需深入研究^[39]。

4 小结

针对 ABC 方法存在的问题,在应用中应该注意以下几个方面:(1) 避免在小个体大量出现的繁殖季节使用 ABC 方法,如果非多毛类小个体占据丰度优势,建议使用部分优势度曲线;(2) 不能对单一门类的底栖生物使用 ABC 方法;(3) 在高潮带、河口等环境压力大的区域以及种类数量极少的区域,建议不使用 ABC 方法;(4) 在硬底环境中不要使用 ABC 方法;(5) 在非有机质污染监测中不要使用 ABC 方法。

参考文献:

[1] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. *Mar Biol*, 1986, 92: 557-562.

[2] Warwick R M, Clarke K R. A comparison of some methods for analysing changes in benthic community structure [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1991, 71: 225-244.

[3] 田胜艳, 于子山. 丰度/生物量比较曲线法监测大型底栖动物群落受污染扰动的研究 [J]. *海洋通报*, 2006, 25(1): 92-96.

[4] 于子山, 张志南, 王诗红. 胶州湾北部软底大型底栖动物丰度和生物量的研究 [J]. *青岛海洋大学学报*, 2000, 30(2): 39-41.

[5] 袁伟, 张志南, 于子山. 胶州湾西部海域大型底栖动物多样性的研究 [J]. *生物多样性*, 2007, 15(1): 53-60.

[6] 杨俊毅, 高爱根, 王春生, 等. 坎门排污工程邻近海域大型底栖生物生态特征 [J]. *海洋环境科学*, 2003, 22(3): 52-55.

[7] 李荣冠, 江锦祥. 应用丰度生物量比较法监测海洋污染对底栖生物群落的影响 [J]. *海洋学报*, 1992, 14(1): 108-114.

[8] 李荣冠, 江锦祥. 兴化湾大型底栖生物生态研究 [J]. *海洋学报*, 1999, 21(5): 101-109.

[9] 何斌源, 邓朝亮, 罗砚. 环境扰动对钦州港潮间带大型底栖动物群落的影响 [J]. *广西科学*, 2004, 11(2): 143-147.

[10] 罗民波, 沈新强, 王云龙. 运用 ABC 曲线评价工程条件下杭州湾周围海域环境变迁 [J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(增刊): 710-714.

[11] 蔡立哲, 黄玉山. 香港维多利亚港大型底栖生物群落的时空变化 [J]. *海洋学报*, 1997, 19(2): 65-70.

[12] Beukema J J. An evaluation of the ABC-method (abundance/biomass comparison) as applied to macrozoobenthic communities living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea [J]. *Mar Biol*, 1988, 99: 425-433.

- [13] Pagola-Carte S. ABC method and Biomass Size Spectra: what about macrozoobenthic biomass on hard substrata? [J]. **Hydrobiologia**, 2004, 527: 163-176.
- [14] Dauer D M, Luckenbach M W, Rodi A J Jr. Abundance biomass comparison (ABC method): effects of an estuarine gradient, anoxic/hypoxic events on contaminated sediments [J]. **Mar Biol**, 1993, 116: 507-518.
- [15] Teixeira F, Salas M A P. Applicability of ecological evaluation tools in estuarine ecosystems; the case of the lower Mondego estuary (Portugal) [J]. **Hydrobiologia**, 2007, 587: 101-112.
- [16] Lardicci C F R. Detection of stress on macrozoobenthos: Evaluation of some methods in a coastal Mediterranean lagoon [J]. **Marine Environmental Research**, 1998, 45: 367-385.
- [17] Reizopoulou S, Thessalou-Legaki M, Nicolaidou A. Assessment of disturbance in Mediterranean lagoons: an evaluation of methods [J]. **Marine Biology**, 1996, 125: 189-197.
- [18] Stenton-Dozey J M E, Jackson L F, Busby A J. Impact of mussel culture on macrobenthic community structure in Saldanha Bay, South Africa [J]. **Marine Pollution Bulletin**, 1999, 39: 357-366.
- [19] 叶立勋. 网箱养鱼诱发有机物污染的生物监测 [J]. 青岛海洋大学学报, 1990, 20(3): 91-101.
- [20] 蔡立哲. 大型底栖动物污染指数(MPI) [J]. 环境科学学报, 2003, 23(3): 626-629.
- [21] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs [J]. **Science**, 1978, 199: 1 302-1 310.
- [22] Huston M. A general hypothesis of species diversity [J]. **Am Nat**, 1979, 113: 81-101.
- [23] 党宏月, 黄勃. 一种简单有效的海洋污染监测手段——K-优势曲线 [J]. 海洋科学, 1996, 1: 2-6.
- [24] Ibanez F, Dauvin J C. Long-term changes (1977-1987) in a muddy fine sand Abraalba-Melinna palmata community from the Western English Channel: multivariate time series analysis [J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1988, 49: 65-81.
- [25] Puente A, Juanes J A. Baseline study of soft bottom benthic assemblages in the Bay of Santander (Gulf of Biscay) [J]. **Hydrobiologia**, 2002, 475/476: 141-149.
- [26] Warwick R M, Clarke K R. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities [J]. **Marine Biology**, 1994, 118: 739-744.
- [27] Weston D P. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient [J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1990, 61: 233-244.
- [28] Warwick R M, Pearson T H R. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method [J]. **Marine Biology**, 1987, 95: 193-200.
- [29] Meire P M, Dereu J. Use of the abundance/biomass comparison method for detecting environmental stress: some considerations based on intertidal macrozoobenthos and bird Communities [J]. **Journal of Applied Ecology**, 1990, 27: 210-223.
- [30] Hutchings P. Biodiversity and functioning of polychaetes in benthic sediments [J]. **Biodiversity and Conservation**, 1998, 7: 1 133-1 145.
- [31] Pagola-Carte S, Saiz-Salinas J I. A pilot study for monitoring the zoobenthic communities on the rocky shores of Abrade Bilbao (northern Spain) [J]. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 2000, 80: 395-406.
- [32] Giangrande A. Polychaete assemblages along a rocky shore on the South Adriatic coast (Mediterranean Sea): patterns of spatial distribution [J]. **Marine Biology**, 2003, 143: 1 109-1 116.
- [33] DelValls T A. Analysis of macrobenthic community structure in relation to different environmental sources of contamination in two littoral ecosystems from the Gulf of Cadiz (SW Spain) [J]. **Hydrobiologia**, 1998, 385: 59-70.
- [34] Clarke K R, Warwick R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and Interpretation [M]. **UK: Plymouth Marine Laboratory**, 1994. 74-77.
- [35] Warwick R M. Analysis of community attributes of the macrobenthos of Frierfjord/Langesundfjord at taxonomic levels higher than species [J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1988, 46: 167-170.
- [36] Ferraro S P, Cole F A. Taxonomic level and sample size sufficient for assessing pollution impacts on the Southern California Bight macrobenthos [J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1990, 67: 251-262.
- [37] Maurer D. The dark side of taxonomic sufficiency [J]. **Marine Pollution Bulletin**, 2000, 40: 98-101.
- [38] Warwick R M. The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities [J]. **Marine Pollution Bulletin**, 1988, 19: 259-268.
- [39] Dauvin J C, Gomez Gesteira J L. Taxonomic sufficiency: an overview of its use in the monitoring of sublittoral benthic communities after oil spills [J]. **Marine Pollution Bulletin**, 2003, 46: 552-555.

(本文编辑:刘珊珊)