

厦门海域大型底栖动物次级生产力的初步研究

周细平, 蔡立哲*, 梁俊彦, 傅素晶, 林和山, 黄 昆

(近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学), 福建 厦门 361005)

摘要: 2004 年 1 月、4 月、7 月和 10 月 4 个航次在厦门海域 22 个取样站定量采集大型底栖动物. 根据 22 个取样站的大型底栖动物栖息丰度和生物量, 运用 Brey(1990) 的经验公式计算年次级生产力(P)和年次级生产力与年生物量的比值(P/B). 结果表明, 整个研究海域大型底栖动物年次级生产力为 $9.68 [g(AFDM)/(m^2 \cdot a)]$, 其中位于鼓浪屿附近海域的次级生产力最高, 为 $25.42 [g(AFDM)/(m^2 \cdot a)]$, 这是因为该海域出现了大量的光滑河蓝蛤(*Potamocorbula laevis*); 而位于九龙江口海域的底质为砂且受疏浚的扰动, 不利于大型底栖动物的栖息, 其年次级生产力最低, 为 $0.31 [g(AFDM)/(m^2 \cdot a)]$. 厦门海域的大型底栖动物年平均 P/B 值为 1.43, 其中 P/B 值最高的出现在九龙江口海域, 为 2.50; 最低出现在西海域, 为 1.26. 在季节分布上, 年平均次级生产力最高出现在夏季, 达 $17.17 [g(AFDM)/(m^2 \cdot a)]$, 最低出现在冬季, 为 $3.45 [g(AFDM)/(m^2 \cdot a)]$; P/B 值最高的是春季, 为 1.89, 最低的是夏季, 为 1.22. 通过估算得出, 厦门海域每年大型底栖动物的次级生产力大约为 $3.8 \times 10^3 t$ 去灰干质量, 或是 $2.1 \times 10^4 t$ 鲜质量.

关键词: 大型底栖动物; 厦门海域; 次级生产力; P/B 值

中图分类号: Q 958.1

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2008)06-0902-05

大型底栖动物是港湾生物的一个重要类群, 在海洋生物食物链中充当重要角色, 也是海洋生态系统衰退的重要标志之一^[1]. 目前国内外许多学者在河流、湖泊和海洋广泛开展了大型底栖动物次级生产力的研究, 无论是对种群次级生产力^[2-4]还是对群落次级生产力的研究均有了多篇报道^[1,5-8]. 厦门海域有关大型底栖动物群落组成及群落动态的研究已进行了不少, 但已有的分析研究尚未涉及大型底栖动物次级生产力方面. 2004 年, 作者对厦门海域 22 个取样站进行了大型底栖动物 4 个季度的野外调查并分析这些调查资料, 尝试研究厦门海域底栖动物次级生产力的时空变化, 丰富了该海域底栖动物次级生产力的研究并为以后探讨厦门海域底栖动物群落变化提供了基础资料.

1 材料与方法

1.1 研究海域

厦门海域位于台湾海峡西岸, 约在北纬 $24^{\circ}15' \sim 24^{\circ}45'$, 东经 $118^{\circ}00' \sim 118^{\circ}15'$ 范围内. 由于经济和社会的快速发展, 人类活动对海域海洋环境的胁迫作用越来越大, 因此厦门海域的生物也面临着前所未有的生存压力. 1980 年与 1981 年, 国家海洋局第三海洋研究所厦门西部水域进行了大型底栖动物调查^[9-10],

厦门海域记载有大型底栖生物 731 种; 20 世纪 90 年代的大型底栖动物调查表明, 厦门海域的大型底栖动物群落优势种有所变化^[11]; 2001~2003 年, 蔡立哲连续 3 年对厦门西海域进行了野外考察和分析, 并观察大型底栖动物群落优势种的变化, 以评价海域的沉积环境质量^[12].

1.2 取样站分布

于 2004 年 1 月(代表冬季,下同)、4 月(春季)、7 月(夏季)和 10 月(秋季)对厦门海域进行大型底栖生物调查. 共布设了 22 个取样站(图 1), 其中 M1-M4 取样站位于西海域(代号 XHY); M5、M6 和 M9 取样站位于鼓浪屿附近海域(代号 GLY); M7、M8 取样站位于九龙江口(代号 JLY); M10-M12 位于南部海域(代号 NBU); M13-M17 位于东部海域(代号 DBU); M18-M22 位于同安湾(代号 TAW).

1.3 实验方法

大型底栖动物取样时, 在调查船上采用 $0.05 m^2$ 的抓斗式采泥器. 每个取样点重复采 4 次(4 斗)有效泥样, 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. 在实验室中, 对样品进行冲洗、分类和计数, 然后在感量为 $0.0001 g$ 的电子天平上称量. 每个取样点的大型底栖动物丰度、生物量为 4 个重复样的总和.

1.4 次级生产力的计算

采用 Brey(1990)^[13] 的经验公式:

$$\lg P = -0.4 + 1.007 \lg B - 0.271 \lg M$$

收稿日期: 2008-01-22

* 通讯作者: cailizhe@xm.u.edu.cn

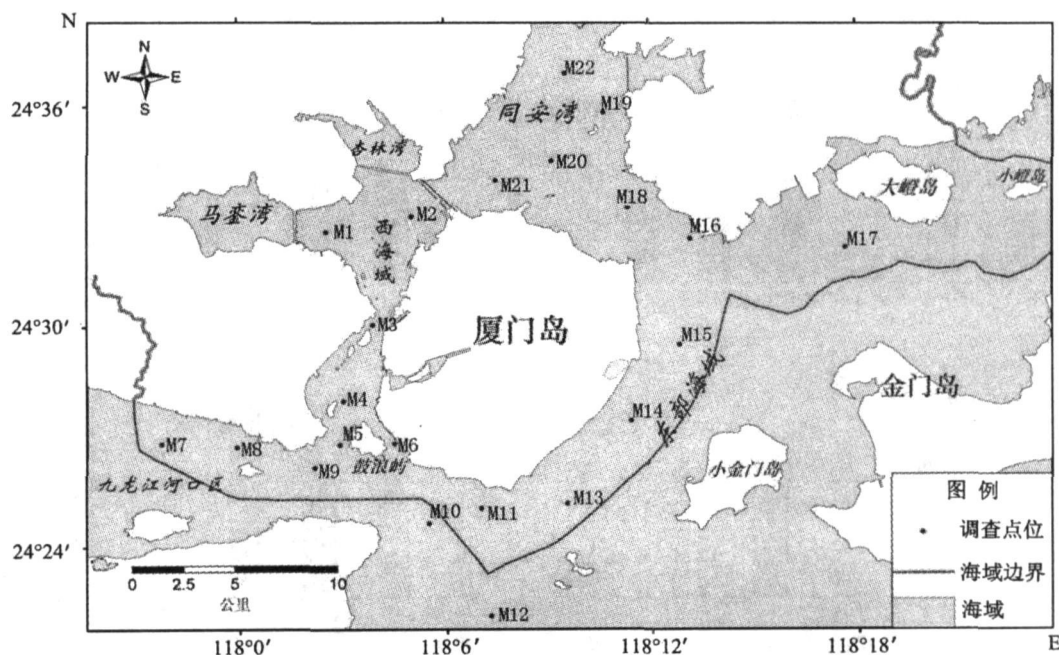


图 1 厦门海域大型底栖动物取样站分布示意图

Fig. 1 Sampling stations of the benthic community survey

由于 $M = B/A$, Brey 的公式转换为:

$$\lg P = 0.27 \lg A + 0.737 \lg B - 0.4$$

其中: P 为每站大型底栖动物次级生产力 [$\text{g}(\text{AFDM})/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$], A 为每站大型底栖动物年平均栖息丰度 (ind/m^2), B 为每站大型底栖动物年平均去灰干质量生物量 [$\text{g}(\text{AFDM})/\text{m}^2$], M 为每站大型底栖动物个体年平均去灰干质量 [$\text{g}(\text{AFDM})/\text{ind}$].

我们将 2004 年 4 个季度的丰度和生物量平均作为年平均丰度和年平均生物量, 然后应用上述公式计算年平均生产力. 生物量鲜质量转换为干质量的比例采用 5: 1, 干质量转换为去灰干质量 (AFDM) 的比例采用 10: 9^[14-15].

2 结果

2.1 大型底栖生物次级生产力的种类组成

2004 年在厦门海域开展的 4 个季度的大型底栖动物调查, 22 个取样站定量取样共获得大型底栖动物 165 种, 其中环节动物 81 种, 占 49.1%, 软体动物 29 种, 占 17.6%, 节肢动物 30 种, 占 18.2%, 棘皮动物 9 种, 占 5.5%, 其他动物 16 种, 占 9.7%.

冬季、春季和夏季大型底栖动物丰度的主要优势种分别是背蚓虫 (*Notomastus latericens*)、光滑河蓝蛤 (*Potamocorbula laevis*)、昆士兰稚齿虫 (*Prionospio queenslandica*), 秋季的密度优势种比较复杂, 昆士兰稚齿虫、双鳃内卷齿蚕 (*Aglaphorus dibranchis*) 和

中华螺赢蜚 (*Corophium sinensis*) 各在 4 个取样站成为密度优势种.

冬季大型底栖动物生物量的主要优势种是模糊短眼蟹 (*Neoxenopthalmus obscurus*), 春季、夏季和秋季的生物量优势种比较复杂, 光滑河蓝蛤和昆士兰稚齿虫所占的比例略高.

2.2 厦门各海域的大型底栖生物次级生产力

厦门海域大型底栖动物年平均栖息丰度为 732 ind/m^2 , 年平均去灰分干质量为 6.77 [$\text{g}(\text{AFDM})/\text{m}^2$], 年次级生产力为 9.68 [$\text{g}(\text{AFDM})/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$], P/B 值为 1.43. 从地理位置上看, 位于鼓浪屿附近海域的年平均次级生产力最高, 为 25.42 [$\text{g}(\text{AFDM})/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]; 位于九龙江口海域的年平均次级生产力最低, 为 0.31 [$\text{g}(\text{AFDM})/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]. P/B 值最高的出现在九龙江口海域, 为 2.50; P/B 值最低出现在西海域, 为 1.26 (图 2).

2.3 厦门海域大型底栖生物次级生产力的季节变化

大型底栖生物平均栖息丰度最高在春季, 达 1 388 ind/m^2 , 最低的在冬季, 仅 288 ind/m^2 ; 年平均去灰分干质量最高在夏季, 14.08 [$\text{g}(\text{AFDM})/\text{m}^2$], 最低在冬季, 仅 2.35 [$\text{g}(\text{AFDM})/\text{m}^2$]; 平均底栖次级生产力最高在夏季, 达 17.17 [$\text{g}(\text{AFDM})/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$], 最低在冬季, 为 3.45 [$\text{g}(\text{AFDM})/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]; P/B 值最高在春季, 为 1.89, 最低在夏季, 为 1.22 (表 1).

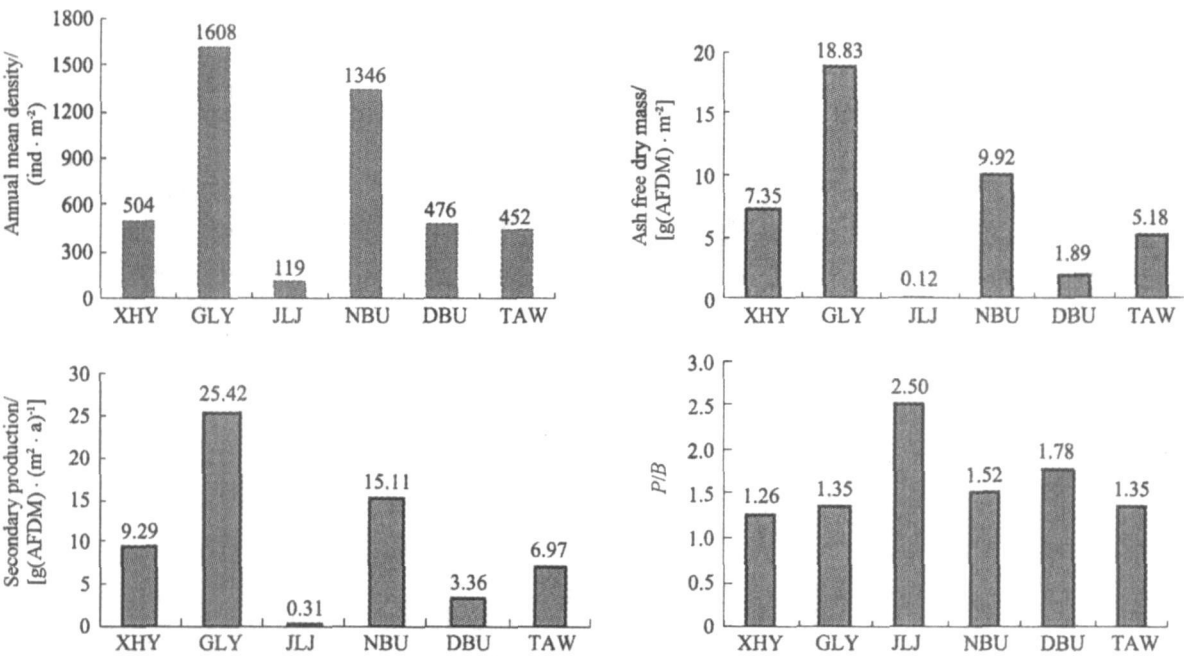


图2 厦门海域各海区大型底栖动物年平均栖息丰度、去灰分干质量、次级生产力和 P/B 值

Fig. 2 The annual mean density, ash free dry mass, secondary production, P/B ratio of macrobenthos in different sea area in Xiamen

3 讨论

3.1 厦门海域次级生产力分布格局分析

2004 年厦门海域大型底栖动物调查结果表明, 位于鼓浪屿附近海域的年平均栖息丰度、年平均生物量和年平均次级生产力都最高, 其中年平均次级生产力达 $25.42 [g(AFDM)/(m^2 \cdot a)]$, 这是因为光滑河蓝蛤分布在鼓浪屿附近的海域并且达到很高的丰度, 如 2004 年 7 月的 M6 取样站光滑河蓝蛤丰度可达 $6160 ind/m^2$, 而光滑河蓝蛤在东海域和同安湾内没有分布, 在宝珠屿附近海域也没有分布; 九龙江口海域的年平均栖息丰度、年平均生物量和年平均次级生产力都最低, 但 P/B 值却是最高, 为 2.53, 这是因为 M7、M8 取样站底质多为砂且受扰动较多, 同时作为九龙江流域污染源的下游, 九龙江口的环境质量相对不利于大

型底栖动物的栖息. P/B 值是生产力与生物量之比, 它是指生物量轮回的次数, 其值高低与生物的生命周期有关^[16]. 为了航道的正常使用, 九龙江口海沧航道需要经常进行疏浚以保证船只的通行, 但这必然影响到一些生命周期较长的大型底栖动物, 事实上我们在该海域的夏、秋 2 个季度获得的密度优势种都是生活周期较短、生物量也相对较小的昆士兰稚齿虫, 其中 M7 取样站在 10 月份的采样中未采集到任何的底栖动物, 因此其 P/B 值较其他海域高. P/B 值最低出现在西海域, 为 1.26, 该海域 4 月和 7 月获得的大型底栖动物密度优势种分别是凸壳肌蛤 (*Musculus senhausei*) 和光滑河蓝蛤, 其生物量较高, 生命周期也较长.

3.2 厦门海域底栖次级生产力季节变化分析

厦门海域2004年大型底栖动物总丰度和生物量

表1 厦门海域不同季度大型底栖动物平均栖息丰度、生物量、次级生产力和 P/B 值

Tab. 1 The mean density, biomass, secondary production and P/B ratio of macrobenthos in different seasons in Xiamen sea area

季度	平均栖息丰度/ (ind · m ⁻²)	平均生物量/ [g(AFDM) · m ⁻²]	平均 次级生产力/ [g(AFDM) · (m ² · a) ⁻¹]	P/B 值
冬季	288	2. 35	3. 45	1. 47
春季	1388	4. 52	8. 54	1. 89
夏季	831	14. 08	17. 17	1. 22
秋季	420	6. 14	7. 75	1. 26

表 2 厦门西海域和同安湾大型底栖动物次级生产力和 P/B 值的历史资料对比

Tab. 2 Comparison to history data at mean secondary production and P/B value of macrobenthos in Xiamen western sea area and Tong'an Bay

海域及取样时间/ 年		平均丰度/ (ind · m ⁻²)	平均生物量/ [g(AFDM) · m ⁻²]	次级生产力/ [g(AFDM) · (m ² · a) ⁻¹]	P/B 值
西海域	1980/1981 ^[9-10]	614	10.71	12.93	1.21
	2004	504	7.35	9.29	1.26
同安湾	1992/1993 [*]	641.5	22.92	22.93	1.00
	2004	452	5.18	6.97	1.35

* 参考未正式发表的《厦门海域环境规划专题报告 02-04》“厦门海域底栖生物生态”, 国家海洋局第三海洋研究所, 1993 年 10 月。

表 3 厦门海域大型底栖动物平均生产力与其他海域的比较

Tab. 3 Comparison of mean secondary production of macrobenthos among different sea areas

海区	栖息丰度/ (ind · m ⁻²)	生物量/ [g(AFDM) · m ⁻²]	水深/ m	水温/ °C	次级生产力/ [g(AFDM) · (m ² · a) ⁻¹]	P/B 值
胶州湾 ^[18]	305	16.30	7	12.2	13.41~18.65	1.05
海坛海峡 ^[19]	1238	10.59	10.8		10.58	1.80
厦门海域	731	6.77		22	9.68	1.43

的变化不一样, 底栖动物丰度的大小顺序是春季(4月)、夏季(7月)、秋季(10月)、冬季(1月), 而底栖动物生物量的大小顺序则是夏季(7月)、秋季(10月)、春季(4月)、冬季(1月). 年次级生产力最高的是夏季, 最低的是冬季; P/B 值最高的是春季, 最低的是夏季. 夏季(7月)的平均次级生产力和平均生物量在 4 个季度中都是最高的, 但其 P/B 值却相反, 原因是夏季所获得的大型底栖动物中有个体生物量较大的种类如真五角海星(*Anthenea pentagonula*) 和光滑河蓝蛤. 真五角海星生命周期长, 丰度很低, 仅在夏季被采到; 光滑河蓝蛤在春季和夏季高丰度出现, 春季个体较小, 而夏季个体较大. 春季由于处于繁殖季节, 因此大型底栖动物栖息丰度是最高的, 但个体通常较小因而总生物量仅高于冬季, 故其 P/B 值最高; 冬季大型底栖动物丰度、生物量和次级生产力均最低, 原因可能是浅水区域水温较低, 许多不耐低温的大型底栖动物向深水移动, 导致浅水区域缺乏大个体的大型底栖动物.

3.3 与厦门海域历史资料的比较分析

与厦门海域历史调查资料比较得出, 无论是西海域还是同安湾, 2004 年调查的大型底栖动物年平均栖息丰度、年平均去灰分干质量生物量和年平均次级生产力均低于以前的调查数据; 而 2004 年的 P/B 值则高于以前的调查数据(表 2). 厦门海域年平均次级生产力有所下降而 P/B 值却有所升高, 这说明以前所获得的大型底栖动物个体较大, 生命周期较长. 例如在同

安湾, 2004 年获得的大型底栖动物群落主要是由个体生物量较小且个体生命周期短的种类如多毛类、甲壳类等组成, 平均丰度和生物量的均比 1992~1993 年低, 因而年次级生产力也低于 1992~1993 年, 而其 P/B 值却较高.

造成这一差异的原因笔者分析可能有几方面, 如调查站位的数目和具体设置, 调查过程中采样面积的大小和调查海域环境的变化等.

3.4 厦门海域与其他海域的比较

将厦门海域与胶州湾及位于闽江口以南的邻近海区海坛海峡进行比较, 发现大型底栖动物平均次级生产力厦门海域< 海坛海峡< 胶州湾(表 3), 次级生产力随着纬度的增加有递减的趋势. 随着纬度的增加, 将导致不同海域大型底栖动物种类组成与数量分布都有所变化, 从而导致次级生产力的变化. 其次, 水深变化与次级生产力变化规律刚好相反, 根据 Brey 等^[17] 关于大型底栖动物生产力随水深的增加而下降的推论, 上述比较的结果也刚好印证了这个推论. 而 P/B 值的变化规律则为: 胶州湾< 厦门海域< 海坛海峡(表 3), 这验证了 Brey 等^[17] 关于 P/B 值随水温升高而升高的推论.

3.5 厦门海域整个区域年次级生产力估算

厦门海域面积约为 390 km², 根据 2004 年调查得到的厦门海域大型底栖动物年平均生产力为 9.68 [g(AFDM)/(m² · a)], 由此保守估算得到整个厦门海

域年生产力为 3.8×10^9 [g (AFDM)], 即厦门海域每年大型底栖动物的次级生产力大约为 3.8×10^3 t 去灰干质量, 或是 2.1×10^4 t 鲜质量。

参考文献:

- [1] 于子山, 张志南, 韩洁. 渤海大型底栖动物次级生产力的初步研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(6): 867–871.
- [2] 吴宝铃, 邱建文. 青岛多齿沙蚕的生产量[J]. 生态学报, 1992(1): 61–67.
- [3] Qiu Jianwen, Wu Baoling. Production dynamics and production of *Neanthes japonica* (IZLKA) in a shrimp pond [J]. Chin J Oceanol Limnol, 1993(4): 360–367.
- [4] 周一兵, 谢祚浑. 虾池中日本刺沙蚕的次级生产力研究[J]. 水产学报, 1995, 19(2): 140–150.
- [5] 李新正, 王金宝, 王洪法, 等. 东海大型底栖生物次级生产力研究[J]. 应用与环境生物学报, 2005, 11(4): 459–462.
- [6] 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研究[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2000, 30(z1): 39–44.
- [7] 李新正, 王洪法, 张宝琳. 胶州湾大型底栖动物次级生产力初探[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(11): 527–533.
- [8] 李新正, 于子山, 王金宝, 等. 南黄海大型底栖生物次级生产力研究[J]. 应用与环境生物学报, 2005, 11(6): 702–705.
- [9] 何明海, 蔡尔西, 吴启泉, 等. 厦门西港底栖生物的生态研究[J]. 台湾海峡, 1988, 7(2): 189–194.
- [10] 吴启泉, 蔡尔西, 何明海, 等. 厦门港湾海洋环境综合调查报告(II)[J]. 台湾海峡, 1988, 7(1): 17–35.
- [11] 蔡立哲, 洪华生, 黄玉山. 厦门西港和香港维多利亚港底栖生物群落及沉积环境对比研究[M]//香港与厦门港湾污染沉积物研究. 厦门: 厦门大学出版社, 1997: 211–218.
- [12] 蔡立哲, 河口港湾沉积环境质量的底栖生物评价新方法研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2003.
- [13] Brey T. Estimating production of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight [J]. Meeresforsch, 1990, 32: 329–343.
- [14] 莱莉 C M, 帕森斯 T R. 底栖生物[M]//张志南, 周红, 译. 生物海洋学导论. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2000: 153–192.
- [15] Crips D J. Energyflow measurements [M]//Methods for the study of marine benthos. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1984: 284–366.
- [16] Warwick R M, Price R. Macrofauna production in an estuarine mud flat [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1975, 55: 1–18.
- [17] Brey T, Gerdes D. High antarctic macrobenthic community production [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1998, 231: 191–200.
- [18] 刘瑞玉, 主编. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1–460.
- [19] 吕小梅, 方少华, 吴萍茹. 海坛海峡潮下带大型底栖动物现状及次级生产力的研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2008, 47(4): 591–595.

The Secondary Production of Macrobenthos in Xiamen Sea Area

ZHOU Xi ping, CAI Li zhe^{*}, LIANG Jun yan,

FU Su jing, LIN He shan, HUANG Kun

(State Key Laboratory of Marine Environmental Science(Xiamen University), Xiamen 361005, China)

Abstract: Macrobenthos investigation was carried out at twenty-two sampling stations in Xiamen Sea area from January to October in 2004. According to macrobenthic biomass and abundance obtained in Xiamen sea area and using Brey's (1990) empirical formula, we calculated the secondary production and P/B ratio. The results showed that the mean secondary production of macrobenthos in studied area was 9.68 [g (AFDM)/(m² · a)]. The highest secondary production was existed in the sea area near the Gulang Island, which was 25.42 [g (AFDM)/(m² · a)] because of the high abundance of *Potamocorbula laevis* while the lowest secondary production was in Jiulong River estuary, which was 0.31 [g (AFDM)/(m² · a)] because the sediment was sandy and disturbed by dredging. The mean P/B value of macrobenthos was 1.43 . The highest value 2.50 was in the Jiulong River estuary and the lowest value 1.26 was in the western sea area. As for seasonal distribution, the highest secondary production was in summer, which was 17.17 [g (AFDM)/(m² · a)], while the lowest value was in winter, which was 3.45 [g (AFDM)/(m² · a)]. The highest P/B value 1.89 appeared in spring and the lowest value 1.22 appeared in summer. The yearly mean secondary production in Xiamen Sea area was 3.8×10^3 for ash free dry mass and 2.1×10^4 t for wet mass.

Key words: macrobenthos; Xiamen sea area; secondary production; P/B value