

浙江渔山列岛岩礁潮间带大型底栖动物次级生产力*

焦海峰^{1,2} 施慧雄¹ 尤仲杰^{1,2**} 楼志军³ 刘红丹⁴ 金信飞⁴

(¹宁波市海洋与渔业研究院, 浙江宁波 315012; ²宁波大学生命科学与生物工程学院, 浙江宁波 315211; ³象山县海洋与渔业局, 浙江宁波 315700; ⁴宁波海洋开发研究院, 浙江宁波 315040)

摘要 为揭示渔山列岛潮间带大型底栖动物现状, 2009年3月至2010年1月在渔山列岛潮间带布设5条断面进行了4个季节的调查取样. 利用Brey的经验公式计算了调查海区大型底栖动物栖息密度、生物量、次级生产力和P/B值. 结果表明: 该潮间带大型底栖动物平均栖息密度为 $1419.5 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 以去灰干质量(AFDM)计, 平均生物量为 $565.53 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 平均次级生产力为 $285.58 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, P/B值为0.51. 潮间带次级生产力受大型软体动物和甲壳类影响明显, 5个关键生物种(条纹隔贻贝、偏顶蛤、覆瓦小蛇螺、日本笠藤壶和鳞笠藤壶)对次级生产力的贡献为84.0%. 研究海域P/B值低于其他海域, 说明该海域大型底栖动物世代更替速度较慢, 群落结构较稳定.

关键词 大型底栖动物 次级生产力 P/B值 渔山列岛 岩礁潮间带

文章编号 1001-9332(2011)08-2173-06 **中图分类号** Q178.531 **文献标识码** A

Secondary productivity of macrobenthos in rocky intertidal zone of Yushan Islands, Zhejiang Province. JIAO Hai-feng^{1,2}, SHI Hui-xiong¹, YOU Zhong-jie^{1,2}, LOU Zhi-jun³, LIU Hong-dan⁴, JIN Xin-fei⁴ (¹Ningbo Academy of Oceanology and Fishery, Ningbo 315012, Zhejiang, China; ²Faculty of Life Science and Biotechnology, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China; ³Xiangshan Bureau of Oceanology and Fishery, Ningbo 315700, Zhejiang, China; ⁴Ningbo Institute of Marine Development and Research, Ningbo 315040, Zhejiang, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(8): 2173-2178.

Abstract: In order to understand the current status of macrobenthos in intertidal zone of Yushan Islands, macrobenthos samples were collected from 5 sections in the intertidal zone in four seasons from March 2009 to January 2010, with the density, biomass, secondary productivity, and P/B value of the macrobenthos investigated by using Brey's empirical formula. The mean density of the macrobenthos was $1419.5 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, mean biomass in ash free dry mass (AFDM) was $565.53 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, mean annual secondary productivity was $285.58 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (AFDM), and mean annual P/B value was 0.51. The secondary productivity was mainly affected by mollusca and gastropoda, with five critical species *Septifer virgatus*, *Modiolus modiolus*, *Serpulorbis imbricata*, *Tetraclita japonica*, and *T. squamosa* contributed 84.0% of the total. The P/B value in the study area was lower than that in other sea areas, showing that the generation turnover rate of the macrobenthos in the intertidal zone of Yushan Islands was slower, and the community structure was more stable.

Key words: macrobenthos; secondary productivity; P/B value; Yushan Island; rocky intertidal zone.

潮间带是海洋生态系统中生产力较高的区域, 可以提供无法替代的生态服务功能^[1], 大型底栖动

物为潮间带生态系统的重要组成部分, 对环境变化敏感, 其种类组成和数量变动能灵敏地反映环境变迁^[2-3]. 次级生产力作为衡量生物群落结构特征和生产能力的量值^[4], 在生态动力学机制的定量研究方面扮演着重要的角色, 对自然资源的合理化配置具有重要的指导意义^[5].

* 国家海洋局公益性行业专项(201105009)、宁波市科技局重大招标项目(2006c100030)和宁波市海洋与渔业局调查专项资助.

** 通讯作者. E-mail: zuiyou@163.com

2011-01-09 收稿, 2011-05-17 接受.

国外许多学者在河流、湖泊和海湾等区域已经开展了底栖动物次级生产力的研究,国内的研究尚属起步阶段.目前既有针对单个物种次级生产力的研究,如:Entrekin等^[6]调查了美国中西部森林溪流中底栖动物的次级生产力,Viegas等^[7]报道了欧洲南部褐虾(*Crangon crangon*)的次级生产力,Mistri等^[8]评价了地中海 *Paramuricea clavata* 的生长与次级生产力,Valentine等^[9]研究了墨西哥湾藻场中贻贝对大型底栖动物生物量和次级生产力的影响;也有针对区域内大型底栖动物次级生产力的研究,如:Mistri等^[10]评价了意大利 Brachish Lagoon 海域软相底质中底栖动物次级生产力,袁伟等^[11]根据胶州湾的海域资源分布特征,研究了胶州湾西部海域菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)分布区内的大型底栖动物次级生产力及与环境的相关性,李新正等^[12]进行了南黄海鳀鱼产卵场大型底栖生物次级生产力研究.迄今为止,对大型底栖动物次级生产力已有较多报道,但针对潮间带底栖动物次级生产力的研究仍不足. Asmus^[13]曾报道德国 Northern Wadden 海域潮间带底栖动物次级生产力,国内目前仅见金亮等^[14-15]对深圳湾北岸泥滩和湄洲湾泥滩大型底栖动物次级生产力的研究,吕小梅等^[16]对福建海坛海峡潮间带大型底栖动物群落结构及次级生产力的研究.

渔山列岛是我国东部沿海典型海岛,贝藻资源丰富,已被列为国家级海洋特别保护区,但有关这一海域潮间带大型底栖动物群落和次级生产力的情况了解甚少.为此我们对渔山列岛潮间带大型底栖动物群落现状进行了周年调查,利用现有经验公式对大型底栖动物群落次级生产力进行估算,旨在为渔山列岛生态环境保护、潮间带生物资源的可持续利用和生物多样性的功能评价提供科学依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

渔山列岛(28°51'—28°56' N, 122°13'—

122°17' E)由13岛41礁组成,岛礁总面积2 km²,岸线长20.8 km.岛礁星罗棋布,水道纵横交错,海岸蜿蜒曲折,海洋资源种类繁多,构成了以数量众多的原生态岛礁及其生物资源为主体的海洋生态系统.其中,渔山渔场是浙江省重要经济鱼虾栖息、繁殖的场所.

1.2 研究方法

2009年3月到2010年1月间,在北渔山岛潮间带布设5条断面(图1),于大潮期间进行大型底栖动物调查采样.每一条断面的高、中、低潮区各设3~5个采样站,每站使用25 cm×25 cm定量取样框,利用小铁铲或者凿子将取样框内的所有生物刮取净,置于标本瓶中用福尔马林溶液固定后带回实验室分析,标本采集、处理以及室内分析的资料整理均按《海洋调查规范》(GB 12763.6—2007)^[17]的要求进行.

1.3 数据处理

将每个断面上大型底栖动物的栖息密度(ind·m⁻²)和生物量(湿质量:g·m⁻²)的平均值作为该断面的平均栖息密度和平均生物量,其中生物量湿质量转化为干质量的比例采用5:1,干质量转化为去灰干质量(ash free dry mass, AFDM)比例采用10:9,然后按照次级生产力计算公式计算各断面的大型底栖动物的次级生产力.

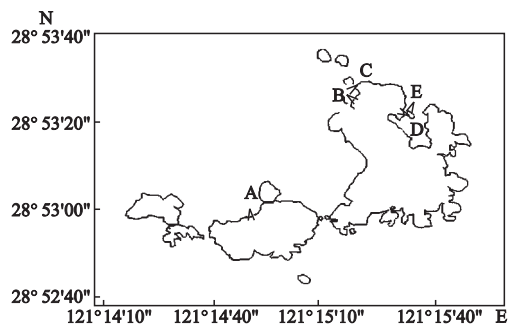


图1 潮间带大型底栖动物采样断面示意图

Fig. 1 Sketch map of sampling sections of macrobenthos in the intertidal zone.

表1 采样站位的环境特征与主要栖息种类

Table 1 Environmental characteristics and main species in the sampling sections

潮区 Intertidal zone	环境特征 Environmental characteristics		主要栖息种类 Main species
	基质 Base	断面 Section	
高潮区 High intertidal zone	岩礁 Rocky reef	A、B、C、D、E	短滨螺 <i>Littorina brevicula</i> 、龟足 <i>Capitulum mitella</i>
中潮区 Middle intertidal zone	砾石 Gravel	B、D	偏顶蛤 <i>Modiolus modiolus</i> 、平背蜆 <i>Gaetice depressus</i>
	块石 Rock	C、E	日本花棘石鳖 <i>Liolophura japonica</i> 、日本菊花螺 <i>Siphonaria Japonica</i>
低潮区 Low intertidal zone	岩礁 Rocky reef	A	鳞笠藤壶 <i>Tetraclita squamosa</i> 、日本笠藤壶 <i>Tetraclita japonica</i>
	块石 Rock	B、C、D、E	覆瓦小蛇螺 <i>Serpulorbis imbricata</i> 、马氏毛粒蟹 <i>Pilumnus minutus</i>
	岩礁 Rocky reef	A	条纹隔贻贝 <i>Septifer virgatus</i> 、短角双眼钩虾 <i>Ampelisca acutifortata</i>

大型底栖动物次级生产力的计算采用 Brey^[18]的经验公式:

$$\lg P = -0.4 + 1.0071 \lg B - 0.271 \lg W$$

由于 $W = B/A$, Brey 的公式可转换为 $P = A^{0.27} \times B^{0.73} / 10^{0.4}$. 其中: P 为断面年次级生产力 (AFDM, $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$); B 为年平均去灰干生物量 ($g \cdot m^{-2}$); W 为年平均个体去灰干质量 ($g \cdot ind^{-1}$); A 为断面大型底栖动物平均栖息密度 ($ind \cdot m^{-2}$).

利用 Excel 进行数据处理, 利用 SPSS 16.0 进行 T 检验与方差分析.

2 结果与分析

2.1 群落种类组成

对渔山列岛潮间带采样调查获得的大型底栖动物样品进行鉴定、分类、统计. 经鉴定, 5 条断面大型底栖动物共出现 254 种次, 其中软体动物出现次数最多, 有 125 种次, 占 49.2%, 甲壳动物 54 种次, 多毛类 48 种次, 腔肠动物 11 种次, 棘皮动物 9 种次, 其他类群动物 7 种次 (表 2). 由此可见, 软体动物和甲壳动物是构成渔山列岛潮间带大型底栖动物的主要种类.

2.2 不同季节大型底栖动物群落现状

渔山列岛潮间带大型底栖动物平均栖息密度为 $1419.5 ind \cdot m^{-2}$, 平均生物量 (湿质量) 为 $3141.84 g \cdot m^{-2}$, 栖息密度和生物量组成见表 3. 潮间带各断面数量分布不均匀, 不同断面不同潮区数量差异较大, 软体动物和甲壳动物之和分别占潮间带大型底栖动物平均栖息密度和生物量的 94.1% 和 98.8%, 为绝对优势种群.

潮间带大型底栖动物平均栖息密度和平均生物量季节变化明显. 春季平均栖息密度为 $2323.2 ind \cdot m^{-2}$, 平均生物量 $5307.06 g \cdot m^{-2}$; 秋季最低, 平均栖息密度 $756.3 ind \cdot m^{-2}$, 平均生物量 $1713.66 g \cdot m^{-2}$; 夏季和冬季分别居第二和第三位, 均显著高于泥沙质潮间带的平均栖息密度和平均生物量. 这与舟山群岛岩礁底质潮间带的生物量和栖息密度显著高于泥相潮间带的论述一致^[17], 说明生境状况决定生物量的大小.

调查发现, 春季条纹隔贻贝、偏顶蛤、覆瓦小蛇螺、日本笠藤壶和鳞笠藤壶等数量较多, 它们的栖息密度占大型底栖动物总栖息密度的 46.7%, 相对其他底栖动物而言, 这 5 个种类单个个体质量较大, 它们占据了总生物量的 81.1%. 调查海域潮间带多为岩礁相基岸, 经过夏季高温季节的暴晒, 到了秋季潮间带的藻类几乎绝迹, 藻类在春夏季营造的生境不复存在, 潮间带生物种类数明显减少, 这也是秋季生物量和栖息密度最低的主要原因, 也进一步说明生境状况对大型底栖动物的分布有关键性的影响^[17]. 秋季习见种为短滨螺 (*Littorina brevicula*)、覆瓦小蛇螺、马氏毛粒蟹 (*Pilumnus minutus*) 等, 多毛类的种类与数量均锐减, 平均栖息密度和生物量仅为春季的 1/3 左右. 对周年生物量和栖息密度通过 T 检验两两比较结果表明: 春、秋两季平均栖息密度存在极显著差异 ($t = 3.432, P < 0.01$), 秋、冬两季平均栖息密度也存在极显著差异 ($t = 3.958, P < 0.01$), 而生物量春、秋两季差异显著 ($t = 2.477, P < 0.05$), 秋、冬两季差异也显著 ($t = 2.502, P < 0.05$), 夏冬季节间生

表 2 渔山列岛潮间带大型底栖动物种类组成

Table 2 Species composition of macrobenthos in the intertidal zone of Yushan Islands

断面 Section	腔肠动物 Coelenterata	多毛类 Annelida	软体动物 Mollusca	甲壳动物 Arthropoda	棘皮动物 Echinodermata	其他 Others	合计 Total
A	2	8	19	9	0	1	39
B	3	11	30	11	2	2	59
C	4	12	23	6	3	2	50
D	1	9	25	12	1	1	49
E	1	8	28	16	3	1	57
合计 Total	11	48	125	54	9	7	254

表 3 渔山列岛潮间带大型底栖动物年均栖息密度和生物量

Table 3 Annual average density and biomass of macrobenthos in the intertidal zone of Yushan Islands

项目 Item	腔肠动物 Coelenterata	多毛类 Annelida	软体动物 Mollusca	甲壳动物 Arthropoda	棘皮动物 Echinodermata	其他 Others	合计 Total
栖息密度 Density ($ind \cdot m^{-2}$)	17.3	43.7	1113.9	221.3	20.5	2.7	1419.5
生物量 Biomass ($g \cdot m^{-2}$)	28.01	5.84	2649.68	453.69	1.49	3.13	3141.84

物量均值差别较大,但未达到显著水平($t=2.200$, $P>0.05$),其余季节间栖息密度和生物量差异均不显著($P>0.05$).

2.3 潮间带大型底栖动物群落次级生产力及 P/B 值

根据 Brey^[18]经验公式计算出渔山列岛潮间带各断面大型底栖动物次级生产力,从表 4 可以看出,年平均次级生产力为 $288.23 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年平均 P/B 值为 0.51. 由于该海域生物量的大小主要受营固着性的双壳类和腹足类影响,如果不考虑条纹隔贻贝、偏顶蛤、覆瓦小蛇螺、日本笠藤壶和鳞笠藤壶等 5 个关键生物种的影响,潮间带的次级生产力平均为 $45.79 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,由此可见这 5 个关键生物种贡献了渔山列岛潮间带 84.0% 的次级生产力.

渔山列岛潮间带环境条件各不相同,断面 A 为岩相底质,断面 B、C 为岩相底质、兼有砾石滩,断面 D、E 为块石和砾石滩. 由表 4 可以看出,各断面潮间带次级生产力变化较明显, A 断面最高,为 $470.06 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,约为 C 断面的 2 倍多,后者为 $223.05 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其余 3 个断面的次级生产力分别为 $256.91 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (D 断面)、 $251.71 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (B 断面)和 $239.40 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (E 断面). 造成断面间产生差异主要是因为栖息种类的不同,由表 1 可以看出, A 断面主要栖息着大量的鳞笠藤壶、日本笠藤壶和条纹隔贻贝,它们栖息密度高、生物量大,故对次级生产力的贡献率也较大,而 C 断面以块石相为主,栖息种类以日本菊花螺和马氏毛粒蟹为主,因此次级生产力值较低. 可见,生态类型决定种类的分布,进而影响次级生产力的大小.

2.4 大型底栖动物次级生产力与其他海域的比较

渔山列岛潮间带大型底栖动物的次级生产力明显高于其他海域的次级生产力(表 5),如胶州湾海

域次级生产力为 $47.34 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[10], Brackish Lagoon 次级生产力为 $65.37 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[18]. 仅潮间带底栖动物次级生产力的比较来看,岩礁相潮间带次级生产力明显高于泥相和沙相潮间带次级生产力水平,英国 Lynher Estuaries 潮间带为软泥质,它的次级生产力为 $13.31 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[19], Ria Formosa 潮间带底质类型为沙相^[20],次级生产力仅为 $32.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[20]. 同为岩礁相潮间带的次级生产力水平相当,美国 St. Joseph 湾的次级生产力范围为 $228.77 \sim 428.59 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[9],而德国 Northern Wadden 海域潮间带的次级生产力达到了 $468 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[13]. 分析渔山列岛潮间带大型底栖动物次级生产力高的原因:一是生态类型不同,调查海域为远离大陆的岩相基质,水质清新、饵料丰富,受人为干扰程度低,在潮间带栖息了大量的生物,故其次级生产力较高;二是大型底栖动物的种类不同,潮间带生物种类以软体动物的条纹隔贻贝、偏顶蛤、覆瓦小蛇螺,以及甲壳类的藤壶类数量最大,这些种类的壳干扰了去灰干质量的计算(壳的质量占个体质量的百分比高),有可能造成次级生产力计算结

表 4 渔山列岛各断面栖息密度、去灰干质量、次级生产力和 P/B 值

Table 4 Mean density, biomass, secondary productivity and P/B of each section in Yushan Islands

断面 Section	栖息密度 Density (ind · m ⁻²)	去灰干质量 Biomass (g · m ⁻² AFDM)	次级生产力 Secondary productivity (g · m ⁻² · a ⁻¹ AFDM)	P/B
A	2302.7	922.28	470.06	0.51
B	1369.3	475.09	251.71	0.53
C	1162.7	427.70	223.05	0.52
D	1057.3	537.61	256.91	0.48
E	1205.3	464.98	239.40	0.51
平均 Average	1419.5	565.53	288.23	0.51

表 5 不同海域大型底栖动物次级生产力的比较

Table 5 Comparison of secondary productivity of different macrobenthic community in various sea areas (AFDM)

调查海域 Sea area	生物量 Biomass (g · m ⁻²)	次级生产力 Secondary productivity (g · m ⁻² · a ⁻¹)	P/B	平均水深 Mean depth (m)	沉积类型 Type of sediment	文献 Reference
渔山列岛 Yushan Islands	565.53	285.45	0.51	潮间带 Intertidal zone	岩礁 Rocky reef	本文 This study
胶州湾西部海域 Western Jiaozhou Bay	81.95	47.34	0.58	9	粉砂 Silt	[11]
Brackish Lagoon	62.1	65.37	1.06	2	粉砂 Silt	[18]
St. Joseph Bay, USA	-	228.77 ~ 428.59	-	潮间带 Intertidal zone	岩礁 Rocky reef	[9]
northern Wadden Sea	1243	468	0.36	潮间带 Intertidal zone	岩礁 Rocky reef	[13]
Ria Formosa	15.2	32.5	2.14	潮间带 Intertidal zone	沙相 Sand	[20]
福建海坛海峡 Haitan Strait	12.14	3.72	1.74	潮间带 Intertidal zone	泥砂 Muddy sand	[16]
Lynher Estuaries	13.24	13.31	1.01	潮间带 Intertidal zone	软泥 Mud	[19]
湄洲湾 Meizhou Bay	26.32	34.70	1.32	潮间带 Intertidal zone	软泥 Mud	[15]

果的偏高,但软体动物和甲壳动物的壳质量对次级生产力干扰程度无统一定论,尚待进一步研究。

3 讨 论

3.1 次级生产力与环境因子的相关性

海洋环境对大型底栖动物次级生产力的影响研究始于 20 世纪 70 年代^[20],研究表明,大型底栖动物次级生产力受环境因子的影响明显,如生物量、底质类型、水深、盐度、有机质含量、叶绿素 a 和中值粒径对次级生产力均有一定的影响,但影响程度不同^[11,16,18]. Tumbiolo^[22]在系统研究影响大型底栖动物次级生产力的因素(如生物量、丰度、温度和深度等)后,认为生物量与次级生产力的相关性最明显(相关系数为 0.96),且次级生产力与温度呈正相关,与深度呈负相关;袁伟等^[11]研究表明,次级生产力与叶绿素 a 和生物量的相关性均极显著,生物量的差异受到生态类型不同的影响^[16]. 本研究表明,渔山岛潮间带次级生产力与生物量相关性极显著(相关系数为 0.993, $P < 0.01$),而与栖息密度的相关程度不高($P > 0.05$),进一步印证了 Tumbiolo 等^[22]的结论. 另外, Brey 等^[21]和袁伟等^[11]研究均指出,大型底栖动物群落的次级生产力随水深增加而下降. 本文研究海域的次级生产力明显高于其他海域,岩礁相潮间带底栖动物的次级生产力高于淤泥质或沙相潮间带的次级生产力。

3.2 P/B 值与群落结构稳定性

据 Tumbiolo^[22]的论述,P/B 值为生物量轮回的次数,在自然群落结构中,P/B 值反映了种群的年龄结构和特异性群落组成^[5,8,23],该值的高低与生物的生命周期或发育速度密切相关. Benke 等^[24]报道在美国 Steilla 河许多摇蚊种类的年 P/B 系数超过 100, Valiela^[25]搜集了多年来一些学者调查的不同种类 P/B 比值的资料,中型底栖动物 P/B 值约为 10,而大型种类(如端足类甲壳动物、各种环节动物和多数双壳类软体动物)的 P/B 值多在 1~2 之间, Mann 等^[26]研究表明,一些生活史较长的软体动物的年 P/B 值仅为 0.1~0.2. Ceccherelli 等^[23]证实,个体小、生命周期短、对环境变化适应能力强的种类 P/B 值较高,反之,该值较低^[11,16]. 本文中,P/B 系数低符合该海域以大型软体动物和甲壳动物为主的群落分布特征. 大型底栖动物的年 P/B 反映了生态群落内物种的新陈代谢率和世代更替的速度^[5,8,10]: 一年多代的种类年 P/B 系数分布较分散,但在 3~13 区间内均匀分布;一年两代,峰值在 5~6 之间;

一年一代,峰值在 4~5 之间;两年一代,峰值在 2~3 之间;多年一代的种类年 P/B 系数较小,峰值在 0~1 之间^[24]. 渔山列岛的平均 P/B 系数为 0.51,表明大型底栖动物的平均世代更替速度大约每年 0.51 代(即平均每两年更替一代),比 Northern Wadden Sea 沿海的 0.36 稍高^[13],明显低于渤海、胶州湾及福建海坛海峡的更替速度,这与条纹隔贻贝、覆瓦小蛇螺和藤壶均为多年生种类的情况相符。

Mistri 等^[19]研究表明,个体大、生命周期长的生物种类对维持海洋生态系统的稳定具有重要作用, Sacca di Goro 海域中底栖生物的 P/B 值低,主要原因是双壳类是该海域底栖动物的绝对优势种群,渔山列岛潮间带大型底栖动物 P/B 系数较低,底栖动物的群落更替时间较长,群落结构相对比较稳定. 双壳类通过 3 种途径维持生态系统稳定:首先,它们移动能力差,栖息场所相对固定;其次,滤食率不随可摄食物数量的增多而降低,可以控制浮游生物的水平;第三,生物量的周转速率低^[21]. Tumbiolo^[22]研究表明,生态系统中大型生物体受到破坏或环境条件恶化后,海洋生态群落将遭受严重的破坏,渔山列岛潮间带大型底栖动物多为固着性的软体动物与甲壳类[如条纹隔贻贝、偏顶蛤、龟足(*Capitulum mitella*)、日本笠藤壶、鳞笠藤壶]和营穴居生活的软体动物与多毛类[如短石蛭(*Lithophaga curta*)、短叶索沙蚕(*Lumbrineris latreilli*)和异须沙蚕(*Nereis heterocirrata*)]等,故如果条纹隔贻贝、藤壶等种类遭到破坏,其生物群落的恢复需要漫长的过程. 假设不考虑多年生较大型的种类(5 个关键种)的影响,潮间带大型底栖动物 P/B 系数为 0.79,它的生物类群组成以小型软体动物、甲壳动物和多毛类为主,小型动物尽管其生物量比大型动物的少,但其周转时间短、产量高,意味着它们是海洋生态系统的重要次级生产者^[16,22-23],从生态环境保护的角度这些种类的作用也不容忽视。

参考文献

- [1] Cushing DH. The flow of energy in marine ecosystems with special reference to the continental shelf// Postma J, ed. Ecosystems of the World 27. Continental Shelves. Amsterdam: Elsevier, 1988: 203-230
- [2] Diamann S. Zonation of benthic communities in a tropical tidal flat of north-east Australia. *Journal of Sea Research*, 2000, **43**: 33-51
- [3] Weis JS, Weis P. Is the invasion of the common reed, *Phragmites australis*, into tidal marshes of the eastern US an ecological disaster. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, **46**: 816-820

- [4] Downing JA. Assessment of secondary production: The first step// Downing JA, Rigler FH, eds. A Manual on Method for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters. IBP handbook No. 16. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1984: 1-18
- [5] Waters TF. Secondary production in inland waters. *Advance of Ecological Research*, 1977, **10**: 91-164
- [6] Entekin SA, Rosi-Marshall EJ, Tank JL, et al. Macroinvertebrate secondary production in 3 forested streams of the upper Midwest, USA. *Journal of the North American Benthological Society*, 2007, **26**: 472-490
- [7] Viegas I, Martinho F, Neto J, et al. Population dynamics, distribution and secondary production of the brown shrimp *Crangon crangon* (L.) in a southern European estuary. Latitudinal variations. *Scientia Marina*, 2007, **71**: 451-460
- [8] Mistri M, Ceccherelli VU. Growth and secondary production of the Mediterranean gorgonian *Paramuricea clavata*. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, **103**: 291-296
- [9] Valentine JF, Heck KL. Mussels in seagrass meadows: Their influence on macroinvertebrate abundance and secondary production in the northern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, **96**: 63-74
- [10] Li X-Z (李新正), Wang H-F (王洪法), Zhang B-L (张宝琳). The secondary production of macrobenthos in Jiaozhou Bay, Shandong. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 2005, **36**(6): 527-533 (in Chinese)
- [11] Yuan W (袁伟), Zhang Z-N (张志南), Yu Z-S (于子山). Secondary productivity of macrobenthos in Jiaozhou Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(1): 145-150 (in Chinese)
- [12] Li X-Z (李新正), Zhang B-L (张宝琳), Wang H-F (王洪法). Secondary production of macrobenthos from the anchovy spawning ground in the Southern Yellow Sea. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2005, **11**(3): 324-327 (in Chinese)
- [13] Asmus H. Secondary production of an intertidal mussel bed community related to its storage and turnover compartments. *Marine Ecology Progress Series*, 1987, **39**: 251-266
- [14] Jin L (金亮), Cai L-Z (蔡立哲), Zhou X-P (周细平), et al. Secondary production of macrobenthos on the mudflat of northern Shenzhen Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), 2007, **26**(3): 413-421 (in Chinese)
- [15] Jin L (金亮), Lin X-C (林秀春), Cai L-Z (蔡立哲). Study on secondary production of macrobenthos in shellfish-farming mudflat in Meizhou Bay. *Marine Environmental Science* (海洋环境科学), 2009, **28**(1): 8-11 (in Chinese)
- [16] Lü X-M (吕小梅), Fang S-H (方少华), Zhang Y-P (张跃平), et al. Community structure and secondary production of macrobenthos in the intertidal zone of Haitan Strait, Fujian Province. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), 2008, **54**(3): 428-435 (in Chinese)
- [17] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China (中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局), Standardization Administration of China (中国国家标准化管理委员会). Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological survey (GB 12763.6-2007). Beijing: China Standards Press, 2007 (in Chinese)
- [18] Mistri M, Rossi R, Fano EA. Structure and secondary production of a soft bottom macrobenthic community in a Brackish Lagoon (Sacca di Goro, north-eastern Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2001, **52**: 605-616
- [19] Warwick RM, Price R. Macrofauna production in an estuarine mudflat. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1975, **55**: 1-18
- [20] Sprung M. Macro-benthic secondary production in the intertidal zone of the Ria Formosa a Lagoon in southern Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1994, **38**: 530-558
- [21] Brey T. Estimating productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight. *Archive of Fishery and Marine Research*, 1990, **32**: 329-343
- [22] Tumhiolo ML. An empirical model for the prediction of secondary production in marine benthic invertebrate populations. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, **114**: 165-174
- [23] Ceccherelli VU, Mistri M. Production of the macrobenthic harpacticoid copepod *Canuella perplexa*. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, **68**: 225-234
- [24] Benke AC, Van Arsdall TC, Gillespie DM, et al. Invertebrates productivity in a subtropical blackwater river: The importance of habitat and life history. *Ecological Monographs*, 1984, **54**: 25-63
- [25] Valiela I. *Marine Ecological Processes*. New York: Springer-Verlag Inc, 1984
- [26] Mann KH. Use of the Alien cure method for calculating benthic production// Edmondson WT, Winberg GG, eds. A Manual on Method for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters (IBP Handbook No. 17). Oxford and Edinburgh: Blackwell Scientific Publications, 1971: 160-165

作者简介 焦海峰,男,1979年生,博士研究生.主要从事海洋资源调查与海洋生态学研究. E-mail: hfjiao888@yahoo.com.cn

责任编辑 肖红
