

温州天河潮间带大型底栖动物的次级生产力*

方平福 章书声 鲍毅新** 魏德重

(浙江师范大学生态研究所, 浙江金华 321004)

摘要 2009年7月—2010年5月分4个季度对温州天河潮间带大型底栖动物进行取样调查, 利用生物量、能量和Brey的经验公式计算了潮间带大型底栖动物次级生产力。结果表明: 整个研究区域大型底栖动物生物量平均值为 $(7.2264 \pm 0.8766) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 能量平均值为 $(44360 \pm 4373) \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, 年平均去灰生物量为 $(6.51 \pm 0.79) \text{ g (AFDW)} \cdot \text{m}^{-2}$, 年平均生产力为 $(7.71 \pm 0.96) \text{ g (AFDW)} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和年平均P/B值为 (1.18 ± 0.07) ; 其中以中潮带的次级生产力最高, 高潮带次之, 低潮带最低; 随着潮间带季节变迁, 生物量和能量在高潮带和低潮带上变化规律一致, 而中潮带季节变化不一致。分析表明: 季节和潮区是影响潮间带大型底栖动物次级生产力时空变异的2个最重要因素; 由于这2个因素的单独和交互作用, 使得温州天河潮间带大型底栖动物次级生产力变化既有一定的规律, 又呈现出变化程度不一致的复杂格局。

关键词 大型底栖动物; 次级生产力; 潮间带

中图分类号 Q958.8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)1-0106-08

Secondary productivity of macrobenthos in Tianhe intertidal zone of Wenzhou, Zhejiang Province of East China. FANG Ping-fu, ZHANG Shu-sheng, BAO Yi-xin **, WEI De-zhong (Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, Zhejiang, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(1): 106–113.

Abstract: From July 2009 to May 2010, a seasonal survey was conducted on the macrobenthos in the tidal flat of Tianhe Town in Wenzhou City, and the secondary productivity of the macrobenthos was calculated, based on the macrobenthic biomass and energy and by using the Brey's empirical formula. The mean biomass, energy, annual ash-free dry mass (AFDM), annual secondary productivity, and annual P/B value of the macrobenthos were $7.2264 \pm 0.8766 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, $44360 \pm 4373 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, $6.51 \pm 0.79 \text{ g (AFDW)} \cdot \text{m}^{-2}$, $7.71 \pm 0.96 \text{ g (AFDW)} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, and 1.18 ± 0.07 , respectively. The macrobenthic secondary productivity was the highest in middle tidal flat, followed by in high tidal flat, and the lowest in low tidal flat. With the seasonal variation of tidal flat, the biomass and energy of the macrobenthos had the same variation trend in high and low tidal flats, but not in middle tidal flat. Season and tidal flat were the most important factors affecting the spatiotemporal variations of the macrobenthic secondary productivity. Because of the individual action and the interaction of these two factors, the macrobenthic secondary productivity in the Tianhe tidal flat showed complex patterns.

Key words: macrobenthos; secondary productivity; intertidal zone.

潮间带处于陆海过渡带属于滩涂湿地生态系统的重要类型之一, 受到各种理化环境因子以及人类活动的影响(李新正等, 2006), 具有很高的生态研究价值, 因此一直备受国内外学者的关注。大型底栖动物作为潮间带湿地生态系统中的重要组成

分, 在食物网链中发挥着承上启下的作用, 据其在时空上的动态变化, 可以很好地反映潮间带这一湿地生态系统的环境变化状况, 在湿地生态系统中起着重要作用(胡知渊等, 2009)。目前国内关于潮间带大型底栖动物的生态学研究多集中在环境因子(如底质(廖一波等, 2007; 焦海峰等, 2011a)、植被(陈中义等, 2005; 周晓等, 2006; 徐姗楠等, 2010)、干扰

* 浙江省自然科学基金重大项目(ZE0204)资助。

** 通讯作者 E-mail: sky90@zjnu.cn

收稿日期: 2012-08-06 接受日期: 2012-10-20

(袁兴中和陆健健,2001;李欢欢等,2007;鲍毅新等,2008;廖一波等,2011)等)和群落结构及多样性的研究(胡知渊等,2008;蔡永久等,2010a,2010b;王宝强等,2011),而在其次级生产力方面的研究则鲜有报道,仅见于塘沽(张青田等,2005)、深沪湾沙滩(梁俊彦等,2008)、福建海坛海峡(吕小梅等,2008)、湄洲湾(方少华等,2009)、胶州湾(张崇良等,2011)和福建罗源湾(杜永芬等,2012)等地的潮间带,在浙江沿海的潮间带大型底栖动物的生产力研究也仅见于对浙江渔山列岛岩礁潮间带的研究(焦海峰等,2011b)。

次级生产力指的是动物和异养微生物通过生长和繁殖而增加的生物量或储存的能量(Waters,1977),可以用湿重、干重、去灰干重、碳含量、氮含量或能量含量等多种方式来表示(Plante & Downing,1989)。从理论上来说,按照能量来测定所得到的结果是最真实、最合理,最具有可比性的,特别是在进行生态系统的能流分析时更是如此(Benke & Wallace,1980)。但在实际的研究中受到条件的限制,大多数底栖动物的次级生产力常用干重或无灰分干重来表示(Clarke *et al.*,1946)。目前国内对底栖动物群落次级生产力的研究大多采用Brey(1990)公式,利用年平均生物量和年平均个体重这两个参数,直接计算各个种群的次级生产力,再将群落中所有种群的次级生产力相加,即得到整个群落的次级生产力。

本文通过对大型底栖动物的能值测定,运用Brey经验公式计算温州天河潮间带大型底栖动物群落的次级生产力,分析其时空变化,并对不同的次级生产力计算方法进行比较分析,以探讨潮间带大型底栖动物群落次级生产力的变化规律。

1 研究地区与研究方法

1.1 采样地概况

温州湾天河潮间带位于温州湾南岸,温州市龙湾区天河镇东5 km(27°47'N—27°52'N,120°48'E—120°50'E),亚热带气候,潮汐为非正规半日浅海潮,平均盐度10‰~30‰。潮间带滩涂为软相底质沉积物,淤泥为主。潮间带地貌特征结合潮汐作用程度可以明显分为潮上带、高潮带、中潮带和低潮带,整个潮间带宽度1600~2000 m。其中,潮上带的大部被围垦,剩余部分较窄,宽度约100~200 m,植被为密集的互花米草,底质为较粗大的淤泥,因潮上带

与海水的交换已基本停止而变成干地;高潮带宽度约为300~450 m,底质淤泥细腻,颗粒细小;中潮带宽度500~600 m,大部分无植被,底质颗粒稍大;低潮带宽度400~450 m,无植被,底质颗粒较粗,泥沙为主。本实验所选样带从高潮带到低潮带均为光滩,无植被干扰,生境单一。

1.2 取样

大型底栖动物调查于2009年7月、10月和2010年1月、5月4个季度进行,选择温州天河镇东滩湿地(27°50'19"N,120°50'22"E)的潮间带作为断面,分高、中和低潮带采样,每个潮带按距海岸距离设置5个站点,共15个取样站点,每个站点之间距离100 m(表1),用GPS记录位置。定量采样选用25 cm×25 cm×30 cm规格的滩涂定量采样器采集泥样,采样深度为20 cm,每站位采取5个样方。所采泥样用1 mm孔径的分样筛进行淘洗,获取大型底栖动物标本。样品采集、处理按《海洋调查规范》(中国国家标准化管理委员会,2007)进行。

1.3 标本处理

所采动物标本临时用10%福尔马林固定,带回实验室后进行分类计数;将动物标本放入烘箱中,用烘箱65℃烘干至恒量,称量干质量;将动物标本研磨成粉末,取部分样品(质量为0.5~1.0 g,精确到0.001 g),用德国IKA公司生产的C200氧弹热量计测定热值,并记录。同一样品热值多次测量取平均值,由此计算出不同站点不同季节里各物种的能量值。

表1 各站点离岸距离
Table 1 Distances to coastline at each site

站点	离岸距离(m)
H1	50
H2	150
H3	250
H4	350
H5	450
M1	700
M2	800
M3	900
M4	1000
M5	1100
L1	1400
L2	1500
L3	1600
L4	1700
L5	1800

H为高潮带,M为中潮带,L为低潮带,1-5为各潮带样点号。

1.4 数据处理

计算不同站点不同物种的个体数、干质量、去灰干质量 (ash-free dry mass, AFDW, 干质量转化为去灰干质量的比例采用 10 : 9 (Waters & Crawford, 1973)) 和热值, 进一步计算得到生物量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)、丰度 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 和能值 ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)。

采用 Brey (1990) 的经验公式计算底栖动物次级生产力:

$$\lg P = -0.4 + 1.007 \lg B - 0.27 \lg W$$

由于 $W = B/A$, 为便于计算, 将上述公式转换为 (Bai *et al.*, 2002):

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

式中, B 为年平均生物量 ($\text{g}(\text{AFDW}) \cdot \text{m}^{-2}$), W 为年平均个体重量 ($\text{g}(\text{AFDW})$), A 为年平均丰度 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$), P 为年生产力 ($\text{g}(\text{AFDW}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

将每个季节的丰度和去灰干重生物量平均, 作为年平均丰度和年平均生物量。然后应用上述公式逐种计算年平均生产力, 最后将所有种类的平均生产力相加, 即得到整个群落年平均生产力。

表 2 调查发现的大型底栖动物
Table 2 Macrobenthic species found in the investigation

门	科	种	门	科	种
软体动物门 Mollusca	拟沼螺科	短拟沼螺	环节动物门 Annelida	鼓虾科 Alpheidae 长臂虾科 Palaemonidae 齿吻沙蚕科 Nephytidae 吻沙蚕科 Glyceridae 沙蚕科 Nereidae	橄榄拳蟹 <i>Philyra olivacea</i> 日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i> 秀丽白虾 <i>Exopalaemon modestus</i> 齿吻沙蚕 <i>Nephtys caeac</i> 长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i> 日本刺沙蚕 <i>Neanthes japonica</i> 日本沙蚕 <i>Nereis japonica</i> 疣吻沙蚕 <i>Tylorrhynchus heterochaeta</i>
	Assmineidae	<i>Assimineae brevicula</i>			巢沙蚕 <i>Dipoaart sp.</i>
	汇螺科	尖锥拟蟹守螺		环节动物门 Annelida	纽虫 Nemertean
	Potamididae	<i>Cerithidea largillierti</i>			线虫 Eelworm
	阿地螺科	泥螺	星虫动物门 Sipuncula	革囊星虫科 Phascolosomatidae	可口革囊星虫 <i>Phascolosoma esculenda</i>
	Atyidae	<i>Bullacta exarata</i>	脊索动物门 Chordata	弹涂鱼科 Periphalthalmidae	青弹涂鱼 <i>Scartelaos virids</i> 大弹涂鱼 <i>Boleophthalmus pectinirostris</i>
	织纹螺科	织纹螺		鰕虎鱼科 Gobiidae	鰕虎鱼 <i>Rhniogobius sp.</i>
	Nassidae	<i>Nassarius siquiorensis</i>			
	竹蛭科	缢蛭			
	Solenidae	<i>Sinonovacula constricta</i>			
	蓝蛤科	焦河蓝蛤			
	Corbulidae	<i>Potamocorbula ustulata</i>			
	樱蛤科	彩虹明樱蛤			
	Tellinidae	<i>Moerella iridescen</i>			
节肢动物门 Arthropoda	方蟹科	沈氏厚蟹			
	Grapsidae	<i>Helice sheni</i>			
		伍氏厚蟹			
		<i>Helice wuana</i>			
		红螯相手蟹			
		<i>Sesarma haematocheir</i>			
		长足长方蟹			
		<i>Metaplex longipes</i>			
		沈氏长方蟹			
		<i>Metaplex sheni</i>			
		日本大眼蟹			
		<i>Macrophthalmus japonicus</i>			
	沙蟹科	弧边招潮			
	Ocyrodidae	<i>Uca arcuata</i>			
		泥蟹			
		<i>Ilyoplax sp.</i>			
	玉蟹科	豆形拳蟹			
	Leucosiidae	<i>Philyra pisum</i>			

利用 Excel、SPSS 等数据处理软件对各位点大型底栖动物群落进行数据处理和方差分析, 分析各站点大型底栖动物次级生产力的时空变化情况。

2 结果与分析

2.1 物种组成

调查得到的大型底栖动物共有 31 种(表 2), 隶属 7 门 8 纲 19 科, 以软体动物(7 种)、节肢动物(12 种)和环节动物(6 种)为主, 占种数的 80.65%, 其中彩虹明樱蛤、泥螺和伍氏厚蟹在潮间带中有重要贡献。调查发现的大型底栖动物名录与鲍毅新等(2006)所调查的基本相同, 但由于存在研究断面上的差异以及取样时间间隔从 2003 年到 2009 年, 导致大型底栖动物群落结构产生了变化, 本次调查与 2003—2004 年相比有 7 种物种未被取到: 珠带拟蟹守螺 (*Cerithidea cingulata*)、粗糙滨螺 (*Littorna scabra*)、短滨螺 (*Littorna brevicula*)、光滑狭口螺 (*Stenothyra glabra*)、中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*)、清白招潮 (*Uca lacteal lactea*) 和隆线拳蟹 (*Philyra carinata*)。

2.2 潮间带大型底栖动物次级生产力

2.2.1 潮间带大型底栖动物生物量 温州天河潮间带湿地大型底栖动物生物量的平均值($\text{mean} \pm \text{SE}$)为(7.2264 ± 0.8766) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,在不同的潮间带之间,生物量呈现中潮带(11.0342 ± 0.5861 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 高潮带(7.4433 ± 0.1128 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) > 低潮带(3.2016 ± 0.1581 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)的趋势。经无重复双因素方差分析显示:总体上,大型底栖动物生物量在潮间带之间无显著差异($F_{2,6} = 3.21, P > 0.05$),不同站点之间具有显著差异($F_{14,42} = 3.19, P < 0.05$);生物量的季节变化在潮间带之间差异不显著($F_{3,6} = 2.12, P > 0.05$),在不同站点之间则差异极显著($F_{3,42} = 14.02, P < 0.01$)(图1)。生物量在高潮带的不同站点之间差异不显著($F_{4,12} = 0.15, P > 0.05$),但其不同站点在季节之间的差异极显著($F_{3,12} = 176.31, P < 0.01$);在中潮带的不同站点之间和季节之间都存在极显著差异($F_{4,12} = 12.73, F_{3,12} = 114.85, P < 0.01$);低潮带同高潮带一样,其不同站点之间的差异不显著($F_{4,12} = 0.98, P > 0.05$),但其不同站点在季节之间有极显著差异($F_{3,12} = 167.07, P < 0.01$)。潮间带各站点大型底栖动物生物量的季节变化规律呈现为在高潮带,春季>夏季>秋季>冬季;在中潮带,春季>夏季>冬季>秋季;在低潮带,夏季>秋季>春季>冬季。

2.2.2 潮间带大型底栖动物能量值 潮间带大型底栖动物能量的平均值($\text{mean} \pm \text{SE}$)为(44360 ± 4373) $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在不同的潮间带之间,能量值亦呈现中潮

带(64894 ± 4246 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$) > 高潮带(39862 ± 1768 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$) > 低潮带(28325 ± 2221 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)的趋势;通过方差分析显示大型底栖动物能量在潮间带之间差异不显著($F_{2,6} = 3.92, P > 0.05$),在不同站点之间差异显著($F_{14,42} = 3.08, P < 0.05$);能量的季节变化在潮间带之间有显著差异($F_{3,6} = 5.99, P < 0.05$),在不同站点之间差异极显著($F_{3,42} = 28.70, P < 0.01$)(图2)。大型底栖动物能值在高潮带的不同站点之间差异不显著($F_{4,12} = 1.89, P > 0.05$),不同站点在季节之间则差异极显著($F_{3,12} = 121.91, P < 0.01$);在中潮带的不同站点之间差异不显著($F_{4,12} = 1.32, P > 0.05$),而不同站点在季节之间有极显著差异($F_{3,12} = 26.58, P < 0.01$);在低潮带的不同站点之间差异略显著($F_{4,12} = 0.94, P \leq 0.05$),不同站点的季节之间则有着极显著差异($F_{3,12} = 27.90, P < 0.01$)。各站点大型底栖动物能量在季节上的变化规律为在高潮带,春季、夏季>秋季>冬季,但春季的各站点平均值(64099 ± 2674 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)要略大于夏季的平均值(62413 ± 4200 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$);在中潮带,夏季和其他季节区别明显,为最高(122025 ± 11682 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$),其他季节各站点变化不同,但各站点平均值是秋季(49592 ± 6669 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)>春季(44452 ± 5880 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)>冬季(43506 ± 4599 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$);在低潮带,各站点季节变化明显,夏季>秋季>春季>冬季。

2.2.3 潮间带大型底栖动物 Brey 经验公式的次级生产力 运用 Brey 经验公式计算得出的温州天河潮间带各站点大型底栖动物的年平均丰度、去灰生物量和次级生产力见表3。可以看出,底栖动物年平均丰

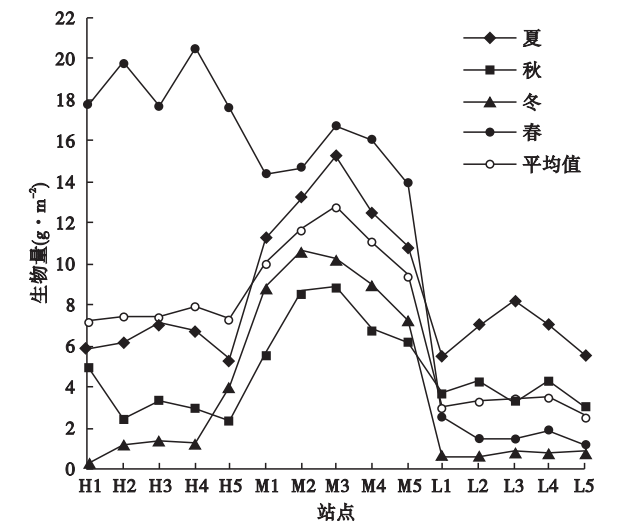


图1 各站点大型底栖动物生物量的季节变化
Fig.1 Seasonal change of macrobenthic biomass at each site

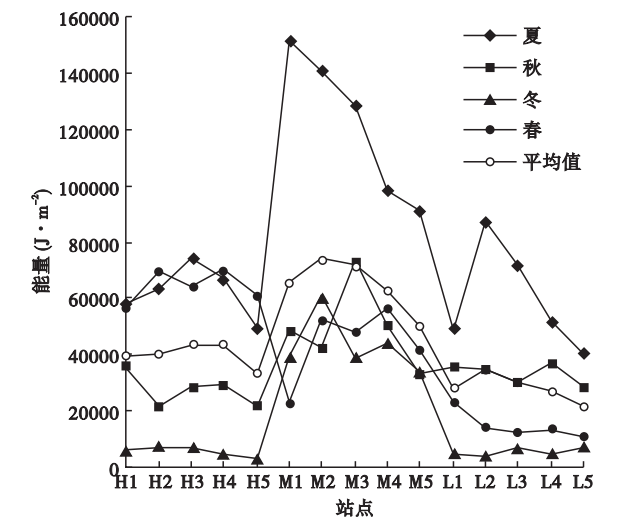


图2 各站点大型底栖动物能量的季节变化
Fig.2 Seasonal change of macrobenthic energy at each site

表 3 各站点大型底栖动物年平均丰度、生物量和次级生产力
Table 3 The abundance, biomass and secondary production of macrobenthos at each site

站点	年平均丰度	年平均生物量	年平均次级	P/B
	(A)	(B)	生产力(P)	
	(ind · m ⁻²)	(g (AFDW) · m ⁻²)	(g (AFDW) · m ⁻² · a ⁻¹)	
H1	657.00	6.50	8.93	1.37
H2	628.75	6.67	9.10	1.36
H3	1099.25	6.66	10.40	1.56
H4	1384.75	7.08	11.59	1.64
H5	930.50	6.59	9.72	1.47
M1	586.75	9.03	8.08	0.89
M2	960.75	10.60	9.33	0.88
M3	806.00	11.50	11.35	0.99
M4	810.25	9.96	13.02	1.31
M5	406.25	8.58	9.72	1.13
L1	133.75	2.75	3.04	1.11
L2	62.00	2.99	2.65	0.89
L3	93.50	3.11	3.00	0.96
L4	102.25	3.16	3.11	0.98
L5	92.00	2.39	2.54	1.06
平均值	583.58±109.07	6.51±0.79	7.71±0.96	1.18±0.07

度为(583.58±109.07) ind · m⁻²、年平均去灰生物量为(6.51±0.79) g (AFDW) · m⁻²、年平均生产力为

(7.71±0.96) g (AFDW) · m⁻² · a⁻¹、年平均 P/B 值为 1.18 ± 0.07。根据鲍毅新等 (2006) 在 2003—2004 年所调查获得的原始数据,将其大型底栖动物生物量转化为去灰生物量,运用 Brey 经验公式计算,2003—2004 年温州湾天河潮间带大型底栖动物的年平均次级生产力为(6.71±1.28) g (AFDW) · m⁻² · a⁻¹、年平均 P/B 值为(0.93±0.04),要比本次调查的要低。将两个时间段的高、中、低潮带进行年度单因素方差分析(表 4),发现 2003—2004 年和 2009—2010 年年平均丰度、年平均生物量、年平均次级生产力和 P/B 值差异都不显著($P > 0.05$),但高潮带和中潮带的年平均丰度,则存在显著差异($F_{1,2} = 33.05, P = 0.03$),2009—2010 年平均丰度要大大高于 2003—2004 年。主要在于本次调查发现的彩虹明樱蛤(*Moerella iridescen*)存在大量繁殖,其丰度在春季最高可达 5013 ind · m⁻²,造成 2009—2010 年丰度偏高。另外两个时间段的年平均次级生产力(潮上带除外)都是中潮带最高,低潮带最低。

表 4 温州天河潮间带大型底栖动物 2003—2004 年和 2009—2010 年年平均丰度、年平均生物量、年平均次级生产力和 P/B 值
Table 4 The abundance, biomass, secondary production and P/B ratio of macrobenthos in intertidal zone in Tianhe Town of Wenzhou City from 1998 to 1999 and from 2009 to 2010

项目	年平均丰度(A)		年平均生物量(B)		年平均次级生产力(P)		P/B 值	
	(ind · m ⁻²)		(g (AFDW) · m ⁻²)		(g (AFDW) · m ⁻² · a ⁻¹)			
	2003—2004 年	2009—2010 年	2003—2004 年	2009—2010 年	2003—2004 年	2009—2010 年	2003—2004 年	2009—2010 年
潮上带	144.50	—	10.54	—	8.65	—	0.82	—
高潮带	171.00	940.05	7.30	6.70	6.91	9.95	0.95	1.49
中潮带	182.00	714.00	9.05	9.93	8.23	10.30	0.91	1.04
低潮带	94.00	96.70	2.98	2.88	3.03	2.87	1.02	0.99
平均值 mean±SE	147.86±19.61	583.58±109.07	7.47±1.64	6.51±0.79	6.71±1.28	7.71±0.96	0.93±0.04	1.18±0.07
单因素方差分析	$F_{1,4} = 2.94, P = 0.16$		$F_{1,4} = 0.01, P = 0.98$		$F_{1,4} = 0.33, P = 0.60$		$F_{1,4} = 1.73, P = 0.26$	

据张崇良等(2011)应用 4 种模式对胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的研究表明,Brey 经验公式对不同季节次级生产力估算效果不甚理想,较适于估算海域年均次级生产力,故未做不同季节次级生产力的估算。

2.3 潮间带大型底栖动物不同形式的次级生产力比较

从图 3 可以看出,各站点在大型底栖动物生物量和能量上的变化趋势比较拟合,各潮带站点之间,中潮带波动较大,高低潮带波动幅度较小,总体来看,大型底栖动物生物量和能量在中潮带各站点最高,低潮带最低。Brey 经验公式计算的次级生产力在高、中潮带各站点之间具有较大波动,且两潮带各

站点的次级生产力相差不大,但就均值而言中潮带(10.30±0.86 J · m⁻²)要略高于高潮带(9.95±0.49 J · m⁻²)。

3 讨论

3.1 潮间带大型底栖动物次级生产力的空间变化

葛宝明等(2005)研究了温州湾灵昆东滩湿地的大型底栖动物群落,结果发现,高潮带、中潮带和低潮带中的种类组成和优势种都不同,3 个潮带之间的物种分布差异明显,说明大型底栖动物的物种分布呈一定的水平变化。正是由于潮间带之间物种分布的不同,使天河潮间带大型底栖动物的次级生产力在潮间带之间具有较大波动。大型底栖动物的

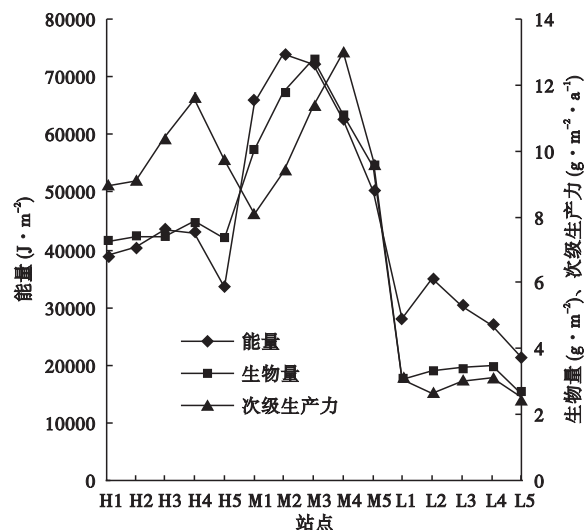


图3 各站点大型底栖动物生物量、能量和次级生产力的变化

Fig. 3 Change of macrobenthic biomass, energy and secondary productivity at each site

次级生产力从中潮带到高潮带,再到低潮带,呈现一定的递减趋势,这可能与各潮带所处的生境条件密切相关。低潮带受到潮汐的影响大,海水流动造成其底质颗粒粗大,并且其露出水面的时间较短,导致了大型底栖动物群落结构的简单,次级生产力较低;而中潮带受到潮汐的影响比较有规律,底质颗粒处于中等水平,生境条件比较稳定,其中也存在潮沟等地形地貌上的变化,利于底栖动物的生存,底栖动物的次级生产力最高;高潮带距离海岸最近,受到潮汐影响较小,虽然底质淤泥细腻,颗粒细小,适宜底栖动物的生长,但由于高潮带距离海洋较远,与海洋之间的海水交换不如中潮带,且长时间处于太阳照射下,所以底栖动物的次级生产力与中潮带相比稍微有所下降,但仍高于低潮带。与国内其他地区如胶州湾(张崇良等,2011)和深沪湾(林和山等,2009)潮间带有所不同,其次级生产力是低潮带最高,高潮带最低。可能是胶州湾潮间带属于典型的河口生态系统,有河流淡水的注入,导致水文环境的不同;而深沪湾潮间带属于沙滩潮间带,底质的不同导致了其独特的生态特点。另外,杜永芬等(2012)研究的福建罗源湾潮间带低潮线光滩附近的次级生产力也是最高,但其他区域与之相比则很低,分析认为大型底栖动物的生产力估算受其研究断面和植被生长的影响。蔡立哲等(2012)对湛江高桥红树林和盐沼湿地的大型底栖动物次级生产力进行的研究,也印证了不同植物生境大型底栖动物次级生产力存在差

异。而通过对温州天河潮间带大型底栖动物群落的研究(鲍毅新等,2006),虽然存在研究断面的不同,但大型底栖动物的多样性潮带变化规律和本文基于其大型底栖动物的次级生产力的研究是相一致的。

3.2 潮间带大型底栖动物次级生产力的季节变化

影响潮间带大型底栖动物次级生产力的因素除了潮带的位置,季节变迁也是重要的因素之一。本研究发现同一潮带的大型底栖动物生物量和能值在季节之间差异极显著,其结果与葛宝明等(2005)对温州湾的研究有一定差异,但与厉红梅等(2004)的研究相似,认为季节和潮带差异是大型底栖动物群落结构产生差异的主要原因,本文支持此结论。邹发生等(1999)对海南东寨港红树林滩涂大型底栖动物多样性的研究表明,生物量存在季节变化,一般夏季明显高于冬季。从本研究来看,高潮带各站点底栖动物生物量和能值都是春季>夏季>秋季>冬季;中潮带各站点生物量是春季>夏季>冬季>秋季,能值则是夏季>秋季>春季>冬季;低潮带各站点生物量和能值呈现夏季>秋季>春季>冬季。夏季温度高,光照强,海洋中藻类和植物的光合作用旺盛,由于食物充足,底栖动物次级生产力都处于较高水平。进入秋季,温度逐渐降低,光照时间变短,海洋中光合作用降低,底栖动物次级生产力随之降低,到冬季达到最低点。虽然中潮带冬季的生物量要比秋季高,但在能值方面,仍然是冬季最低。进入春季后,温度回升,光照时间变长,底栖动物次级生产力随着海洋光合作用的恢复而逐渐增加。

3.3 与其他海域大型底栖动物年次级生产力的比较

温州天河潮间带大型底栖动物次级生产力和P/B值和其他海域相比较,与同为潮间带生境的Lynher Estuary (England) (Armitage *et al.*, 1995)最相似,其次级生产力和P/B值分别为13.31 g(AFDW) · m⁻² · a⁻¹和1.01。与周边海域相比,如渤海的次级生产力和P/B值分别为6.49 g(AFDW) · m⁻² · a⁻¹和0.82(于子山等,2001)、东海为1.62 g(AFDW) · m⁻² · a⁻¹和1.41(李新正等,2005)、长江口为3.52 g(AFDW) · m⁻² · a⁻¹和1.53(刘勇等,2008)、象山港为4.32 g(AFDW) · m⁻² · a⁻¹和2.00(王金辉等,2006)、厦门海域为9.68 g(AFDW) · m⁻² · a⁻¹和1.43(周细平等,2008)、深沪湾为0.599 g(AFDW) · m⁻² · a⁻¹和1.56(林和山等,2009)以及大亚湾为0.60 g(AFDW) · m⁻² · a⁻¹和

1.56(杜飞雁等,2008),温州天河潮间带次级生产力($7.71 \text{ g(AFDW)} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)处在象山港和厦门海域之间,符合温州天河潮间带所处的地理位置。上述对比发现,大型底栖动物次级生产力和 P/B 值,有随着纬度的增加而减小的趋势,总的来说还是符合 Brey 关于大型底栖动物次级生产力随着水深增加而下降和 P/B 值随着水温升高而升高的推论(Waters & Crawford,1973),但由于各个海域的环境条件不同,对底栖动物次级生产力影响的因子如水深,水温、底质类型、溶氧量和生物碱相互作用的等都不尽相同,底栖动物次级生产力也呈现多样化。

参考文献

- 鲍毅新,葛宝明,郑祥,等. 2006. 温州湾天河滩涂大型底栖动物群落分布与季节变化. 动物学报, **52**(1): 42-52.
- 鲍毅新,胡知渊,李欢欢,等. 2008. 灵昆东滩围垦区内外大型底栖动物季节变化和功能群的比较. 动物学报, **54**(3): 416-427.
- 蔡立哲,许鹏,傅素晶,等. 2012. 湛江高桥红树林和盐沼湿地的大型底栖动物次级生产力. 应用生态学报, **23**(4): 965-971.
- 蔡永久,龚志军,秦伯强,等. 2010a. 太湖大型底栖动物群落结构及多样性. 生物多样性, **18**(1): 50-59.
- 蔡永久,姜加虎,张路,等. 2010b. 长江中下游湖泊大型底栖动物群落结构及多样性. 湖泊科学, **22**(6): 811-819.
- 陈中义,付萃长,王海毅,等. 2005. 互花米草入侵东滩盐沼对大型底栖无脊椎动物群落的影响. 湿地科学, **3**(1): 1-7.
- 杜飞雁,王雪辉,李纯厚,等. 2008. 大亚湾大型底栖动物生产力变化特征. 应用生态学报, **19**(4): 873-880.
- 杜永芬,高抒,于子山,等. 2012. 福建罗源湾潮间带大型底栖动物的次级生产力. 应用生态学报, **23**(7): 1904-1912.
- 方少华,吕小梅,张跃平,等. 2009. 湄洲湾东吴港区附近潮间带大型底栖动物的时空分布及次级生产力. 台湾海峡, **28**(3): 392-398.
- 葛宝明,鲍毅新,郑祥,等. 2005. 灵昆岛潮间带大型底栖动物群落结构与生态位分析. 生态学报, **25**(11): 3037-3043.
- 胡知渊,鲍毅新,程宏毅,等. 2009. 中国自然湿地底栖动物生态学研究进展. 生态学杂志, **28**(5): 959-968.
- 胡知渊,李欢欢,鲍毅新,等. 2008. 灵昆岛围垦区内外滩涂大型底栖动物生物多样性. 生态学报, **28**(4): 1498-1507.
- 焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等. 2011a. 渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位. 生态学报, **31**(14): 3928-3936.
- 焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等. 2011b. 浙江渔山列岛岩礁潮间带大型底栖动物次级生产力. 应用生态学报, **22**(8): 2173-2178.
- 李欢欢,鲍毅新,胡知渊,等. 2007. 杭州湾南岸大桥建设区域潮间带大型底栖动物功能群及营养等级的季节动态. 动物学报, **53**(6): 1011-1023.
- 李新正,李宝泉,王洪法,等. 2006. 胶州湾潮间带大型底栖动物的群落生态. 动物学报, **52**(3): 612-618.
- 李新正,王金宝,王洪法,等. 2005. 东海大型底栖生物次级生产力研究. 应用与环境生物学报, **11**(4): 459-462.
- 厉红梅,孟海涛. 2004. 深圳湾底栖动物群落结构时空变化环境影响因素分析. 海洋环境科学, **23**(1): 37-40.
- 梁俊彦,蔡立哲,周细平,等. 2008. 深沪湾沙滩潮间带大型底栖动物群落及其次级生产力. 台湾海峡, **27**(4): 466-471.
- 廖一波,寿鹿,曾江宁,等. 2011. 象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究. 生态学报, **31**(3): 646-653.
- 廖一波,曾江宁,陈全震,等. 2007. 嵊泗海岛不同底质潮间带春秋大型底栖动物的群落格局. 动物学报, **53**(6): 1000-1010.
- 林和山,蔡立哲,梁俊彦,等. 2009. 深沪湾大型底栖动物群落及其次级生产力初步研究. 台湾海峡, **28**(4): 520-525.
- 刘勇,线薇薇,孙世春,等. 2008. 长江口及其邻近海域大型底栖动物生物量、丰度和次级生产力的初步研究. 中国海洋大学学报(自然科学版), **38**(5): 749-756.
- 吕小梅,方少华,张跃平,等. 2008. 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. 动物学报, **54**(3): 428-435.
- 王宝强,薛俊增,庄骅,等. 2011. 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性. 生态学报, **31**(20): 5865-5874.
- 王金辉,杨春旺,孙亚伟,等. 2006. 象山港大型底栖动物的生物多样性和次级生产力研究. 天津农学院学报, **13**(2): 24-28.
- 徐姗楠,陈作志,黄小平,等. 2010. 底栖动物对红树林生态系统的影响及生态学意义. 生态学杂志, **29**(4): 812-820.
- 于子山,张志南,韩洁,等. 2001. 渤海大型底栖动物次级生产力的初步研究. 青岛海洋大学学报(自然科学版), **31**(6): 867-871.
- 袁兴中,陆健健. 2001. 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响. 生态学报, **21**(10): 1642-1647.
- 张崇良,徐宾铎,任一平,等. 2011. 胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化. 生态学报, **31**(17): 5071-5080.
- 张青田,胡桂坤,倪蕊,等. 2005. 塘沽潮间带大型底栖动物营养结构的初步分析. 海洋湖沼通报, (3): 73-78.
- 中国国家标准化管理委员会. 2007. GB/T 12763.6—2007 海洋调查规范(第6部分海洋生物调查). 北京:中国标准出版社.
- 周晓,王天厚,葛振鸣,等. 2006. 长江口九段沙湿地不

- 同生境中大型底栖动物群落结构特征分析. 生物多样性, **14**(2): 165–171.
- 周细平, 蔡立哲, 梁俊彦, 等. 2008. 厦门海域大型底栖动物次级生产力的初步研究. 厦门大学学报(自然科学版), **47**(6): 902–906.
- 邹发生, 宋晓军, 陈伟, 等. 1999. 海南东寨港红树林滩涂大型底栖动物多样性的初步研究. 生物多样性, **7**(3): 175–180.
- Armitage P, Cranston PS, Pinder LCV. 1995. The Chironomidae: The Biology and Ecology of Non-Biting Midges. London: Chapman & Hall, 225–268.
- Bai YF, Zhang LX, Zhang Y, *et al.* 2002. Changes in plant functional composition along gradients of precipitation and temperature in the Xilin River Basin, Inner Mongolia. *Acta Phytocologica Sinica*, **26**: 308–316.
- Benke AC, Wallace JB. 1980. Tropic basis of production among net-spinning caddisflies in a southern Appalachian stream. *Ecology*, **61**: 108–118.
- Brey T. 1990. Estimating Productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight. *Meeresforsch*, **32**: 329–343.
- Clarke GL, Edmondson WT, Ricker WE. 1946. Mathematical formulation of biological productivity. *Ecological Monographs*, **16**: 336–337.
- Plante C, Downing JA. 1989. Production of freshwater inverted rate populations in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **46**: 1489–1498.
- Waters TF, Crawford GW. 1973. Annual productions of astreammay fly population: A comparison of methods. *Limnology and Oceanography*, **18**: 286–296.
- Waters TF. 1977. Secondary production in inland waters// Macfadyen A, ed. *Advances in Ecological Research*. London: Academic Press: 91–164.
-
- 作者简介** 方平福,男,1987年生,硕士研究生,主要从事动物生态学研究。E-mail: fangpingfu@126.com
- 责任编辑** 李凤芹
-