

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第17期 Vol.31 No.17 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈 尚,夏 涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾 彤,任安芝,王 帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵 阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张 强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管 博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭 路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响 ···	刘 波,王美珏,谢 骏,等 (4866)
Cd ²⁺ 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响 ·····	许丹丹,席貽龙,马 杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析 ·····	吕慎金,杨 燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素 ·····	同小娟,李 俊,刘 渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响 ·····	谷艳芳,张 莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响 ·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义 ·····	施 翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征 ·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究 ·····	聂建亮,武建军,杨 曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征 ·····	汪智军,梁 轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响 ·····	尹 丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化 ·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻 杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢 琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫 菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化 ·····	张利敏,王传宽,唐 艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈 燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟 伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴 迪,代方舟,严 岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆 林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨 艳,牛建明,张 庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介 ···	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

张崇良,徐宾铎,任一平,薛莹,纪毓鹏. 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, 2011, 31 (17): 5071-5080.

Zhang C L, Xu B D, Ren Y P, Xue Y, Ji Y P. The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (17): 5071-5080.

胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化

张崇良,徐宾铎,任一平*,薛莹,纪毓鹏

(中国海洋大学水产学院, 青岛 266003)

摘要:根据 2009 年 4 个季度月在胶州湾潮间带进行的大型底栖动物调查,利用 Brey 经验公式、Tumbiolo 和 Downing 模型以及 Brey 估算模型对潮间带大型底栖动物次级生产力进行了估算。结果表明,胶州湾潮间带大型底栖动物年均次级生产力在 $5.3\text{--}29.9\text{ g AFDW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间;不同季节次级生产力存在较大差异,以夏季最大,春、秋季次之,冬季最小。年均次级生产力在潮区间的分布从高至低依次为低潮区 E,中潮区 B、C、D 和高潮区 A,不同季节和不同估算方法的结果稍有差别。春季大型底栖动物次级生产力最高的潮区为潮区 D,夏、秋季均为潮区 E,冬季为潮区 B。贝类养殖活动是影响本海域次级生产力时空变化的主要因素。应用不同经验模型的次级生产力估算结果未取得一致;春季 3 个估算值间存在明显差异;夏季 Brey 经验公式与 Brey 模型估算值基本一致,Tumbiolo 和 Downing 模型估算值偏低;秋、冬季 Tumbiolo 和 Downing 模型与 Brey 模型估算结果相近,Brey 经验公式估算值偏高。Wilcoxon 检验表明 3 种方法对次级生产力的估算值差异显著。大型底栖动物群落种类组成和海域水温特征可能是造成不同模型次级生产力估算差异的主要原因。

关键词:次级生产力;经验模型;大型底栖动物;胶州湾;潮间带

The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay

ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping*, XUE Ying, JI Yupeng

College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

Abstract: The secondary production of macrozoobenthos is an important component of the matter recycle and energy flow in the marine ecosystem. In this field there have been extensive studies abroad, but the domestic research is limited. In order to get a better understanding of the secondary production of macrozoobenthos, seasonal surveys were conducted in the intertidal zone of Jiaozhou Bay. On the basis of the seasonal data in 2009, the secondary production of macrozoobenthos was investigated using three empirical equations: Brey (1990), Tumbiolo & Downing (1994) and Brey (2001). The results showed that 95 species were found in our study, and there were little variations among seasons. The annual average secondary production varied between 5.3 and $29.9\text{ g AFDW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, depending on the empirical equations used. The secondary production showed great differences between seasons. The estimation value in summer was much higher than the others, and the values in spring and autumn were similar and were slightly higher than that in winter. The secondary production of macrozoobenthos in low-tidal area E was the highest, and was slightly lower in middle-tidal area B&C, much lower in middle-tidal area D and the lowest in high-tidal area A. However, there were slight variations in the secondary production among different seasons and among the methods used. The secondary production was the highest in the tidal area D in spring, while the highest value was in the tidal area E in summer and autumn, and B in winter; the secondary production was relatively low in the tidal area A&C in all the seasons, and the tidal area D had also low value in summer.

基金项目:国家海洋公益性行业科研专项经费资助项目(200805066)

收稿日期:2010-07-05; **修订日期:**2010-12-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: renyip@ouc.edu.cn

The aquaculture of bivalves may contribute mostly to the changes of spatio-temporal patterns of the macrozoobenthic secondary production in the study area. The three empirical equations showed some differences in the estimations of the secondary production. In spring, the estimations from the three models were significantly different; and in summer the estimations from Brey (1990) and Brey (2001) equations were similar, while the values of Tumbiolo & Downing (1994) model were low. In autumn and winter, the estimations of Tumbiolo & Downing (1994) and Brey (2001) equations were close to each other, and Brey (1990) method deviated from them significantly. The Wilcoxon test showed that estimations of secondary production from the three methods differed significantly, which presented a caveat for the applications of the empirical equations. According to our results, it inferred that Brey (1990) and Brey (2001) models were suitable for the estimation of the secondary production of the entire year, and the Tumbiolo & Downing (1994) was suitable for the estimation in autumn and winter. Brey (1990) and Tumbiolo & Downing (1994) models were convenient methods for the estimation of the secondary production of macrozoobenthos, but they simplified the environment factors and the compositions of the benthos community, which might impact the accuracy of the estimations. The species composition of the macrozoobenthic community and the water temperature of the study area may be the main reasons for the different estimated values from the above equations in our study.

Key Words: secondary production; empirical model; macrozoobenthos; Jiaozhou Bay; intertidal zone

胶州湾位于山东半岛南岸,濒临黄海,是一个半封闭型的浅海湾,属典型的暖温带水域,季节间水温变化明显,对其进行底栖生物的研究具有广泛的代表性^[1]。胶州湾潮滩广布,为底栖生物提供了适宜的生存环境,同时也是海鸟等野生动物良好的栖息场所,具有重要生态作用和资源价值^[2]。目前对胶州湾潮间带生物的相关研究较少,特别是在底栖动物次级生产力方面尚无报道。由于潮间带理化环境复杂,底栖生物分布具有明显时、空异质性,因此探讨底栖生物次级生产力时空变化对本海域生物多样性保护和生物资源利用具有重要意义。

次级生产是生态系统生物生产的重要环节,在生态系统物质循环和能量流动过程中起重要作用^[3-4]。大型底栖动物次级生产力研究是量化底栖生物生态过程的重要途径,对于了解底栖生物群落变化规律、深入研究海洋生态系统动力学过程和实现海洋生物资源可持续利用都具有重要意义^[5-6]。底栖动物次级生产力计算可追溯到 1919 年,但直到 20 世纪 70 年代才逐渐兴起^[7-8],这些研究的对象为特定种群,计算方法主要基于种群生长或死亡率,如减员累计法、积累生长法、瞬时增长率法、Allen 曲线法以及体长频率法等,其结果虽较准确,但所需工作量较大^[9-10]。由于群落中部分种类出现频率很低,完整的群落数据通常很难获得,因此一般难以采用该类方法进行群落层次次级生产力的计算^[7]。对整个群落次级生产力的测算,通常使用准确性稍低但较为易行的估算方法。自 Robertson 提出估算方法以来^[11],国外学者在这方面做了大量研究,探讨了次级生产力与群落特征(生活史、个体重和平均生物量等)以及环境因子(温度、水深等)的关系,并构建了一些估算次级生产力的经验模型^[12-13]。国内学者在大型底栖动物群落结构和多样性方面研究较多,但对次级生产力的研究相对较少^[6,9]。目前国内对底栖动物群落次级生产力的研究方法单一,大多采用 Brey 经验公式^[5-6, 9, 14-20],但对于该方法的应用范围没有进一步探讨。

本文运用 3 种应用较广泛的次级生产力经验模型,即 Brey 经验公式、Tumbiolo 和 Downing 模型与 Brey 估算模型,计算胶州湾西北部潮间带大型底栖动物群落的次级生产力,分析其时空变化,为本海域底栖动物群落结构与功能研究提供基础资料。同时,拟通过对 3 种方法估算结果的比较,评价现有经验公式的可靠性,探讨其适用范围,以期对次级生产力的估算提供方法参考。

1 材料与方法

1.1 调查地点与取样方法

调查研究区域位于胶州湾西北部潮间带 120° 6'—120° 12'N, 36° 6'—36° 12'E 之间,潮滩平坦,为典型

软泥质底,邻近大沽河。大沽河是注入胶州湾的最大河流,但由于环胶州湾公路建设等因素影响,其径流量减少^[5],仅在夏季有大量淡水注入,引起河口区附近盐度变化^[21]。本海域为软体类和多毛类生物提供了适宜的生存环境,潮滩上开展了较大规模的贝类养殖,主要养殖种类为菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)和光滑蓝蛤(*Potamocorbula laevis*),底栖生物群落受到较大的人为扰动。

大型底栖动物调查于2009年2月,5月,8月和11月4个季度月进行,共布设7条断面,每断面设置5个站点,依次为潮区A(高潮区),潮区B、C、D(中潮区)和潮区E(低潮区),共35个取样站点,具体站位布设见图1。由于该海域潮滩长、底质软及涨落潮较快等原因,使用传统潮间带采样方法存在很大困难。本研究采取在大潮高潮期间乘船作业的方法,使用箱式采泥器(规格25cm×25cm×30cm)进行采样,每站位采取3个泥样合并为1个样方。由于潮水涨落原因,个别月份高潮区站位未能成功取样。泥样经由孔径为1.0 mm的滤筛冲洗掉泥沙,滤出样品带回实验室进行分析。在实验室内仔细挑拣出生物样品,分类存放并用75%酒精固定。生物采样调查的同时监测各站位的海水温度。

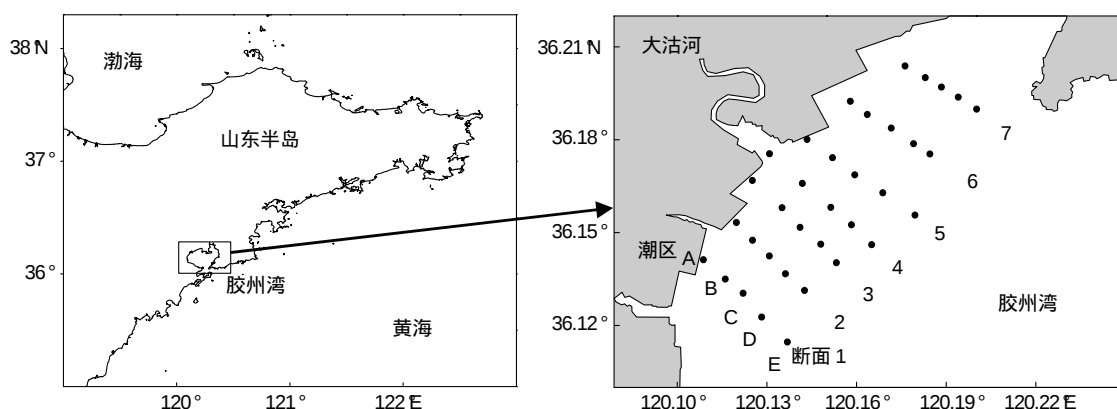


图1 胶州湾潮间带大型底栖动物调查站位

Fig. 1 Sampling stations of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay

1.2 样品处理

在实验室内进行样品的分类、鉴定和计数,使用精度为0.01 g的电子秤称量样品湿重(软体动物带壳称重)。相关样品处理方法均参照《海洋调查规范第6部分:海洋生物调查》进行^[22]。

根据模型对数据的要求,需对生物量数据进行相应转化。Brey经验公式中,生物量湿重转化为干重的比例采用5:1,干重转化为去灰干重(AFDW)的比例采用10:9^[23]。在Tumbiolo和Downing模型与Brey模型中,将湿重(WW, g/m²)转换为干重(DW, g/m²)、去灰分干重(AFDW, g/m²)和对应能量值(EG, kJ/m²)的转换系数参考Brey等研究^[24],具体转换系数见表1。

1.3 次级生产力估算方法

1.3.1 Brey经验公式

Brey^[25]提出群落次级生产力与平均生物量(B)和平均个体重量(W)两个基础参数间有很好的相关性,构建了群落次级生产力估算公式:

$$\lg P = -0.4 + 1.007 \lg B - 0.271 \lg W \quad (1)$$

式中, P 为大型底栖动物次级生产力(g AFDW·m⁻²·a⁻¹); B 为大型底栖动物年平均去灰干重生物量(g AFDW/m²); W 为大型底栖动物个体年平均去灰干重(g AFDW/个体)。

为方便计算,在实际应用中通常将(1)式转换为:

$$\lg P = 0.271 \lg A + 0.7371 \lg B - 0.4 \quad (2)$$

式中, A 为大型底栖动物年平均丰度(个体/m²),其余参数与公式(1)中相同。

表 1 大型底栖动物重量转换关系

Table 1 Conversion factors of the macrozoobenthos body weight

分类 Taxa	湿重	湿重	去灰分干重
	Wet weight /g	Wet weight /g	Ash free dry weight/g
	→ 干重 Dry weight /g	→ 去灰分干重 Ash free dry weight /g	→ 能值 Energy/kJ
双壳纲(去壳) Bivalvia	0.087	0.057	22.79
腹足纲 Gastropoda	0.094	0.079	22.83
多毛纲 Polychaeta	0.188	0.145	23.33
蔓足亚纲(去壳) Cirripedia	0.066	0.039	22.74
甲壳纲(除蔓足类) Crustacea	0.226	0.169	22.57
游泳亚目 Natantia	0.267	0.234	22.25
爬行亚目 Reptantia	0.258	0.180	22.26
海参纲 Holothuroidea	0.158	0.085	22.59
纽形动物 Nemertea	0.220	0.209	24.82
星虫 Sipunculida	0.177	0.111	23.33
底层鱼类 Demersal Fish	0.258	0.251	25.57
其它 Others	0.274	0.120	22.30

1.3.2 Tumbiolo 和 Downing 模型

Tumbiolo 和 Downing^[7] 参考了 Brey 经验公式和 Plante-Downing 的估算模型,将底栖生物群落和环境因子结合起来,建立了一个适用范围更广的计算公式:

$$\lg P = 0.18 + 0.97 \lg B - 0.22 \lg Wm + 0.04 Tb - 0.14 Tb \lg (Z+1) \quad (3)$$

式中, P 为底栖动物年次级生产力 ($\text{g DW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); B 为年平均生物量 ($\text{g DW}/\text{m}^2$); Tb 为底层水温 ($^{\circ}\text{C}$); Z 为平均水深 (m , 潮间带水深为 0)^[7]; Wm 为群落最大个体重量 (mg DW), 本研究通过称量优势类群的最大个体重量获得^[26]。

1.3.3 Brey 估算模型

Brey^[27] 模型包含了前述的群落参数(生物量、丰度和个体大小)和环境参数(水温、水深),还涉及了其它海洋环境特征和群落结构特征参数,其公式为:

$$\begin{aligned} \lg P/B = & 7.947(-2.294 \lg M - 2409.856 \times (1/(T+273))) + 0.168 \times (1/D) \\ & + 0.180 SubT + 0.180 InEpi + 0.277 MoEpi + 0.174 Taxon1 - 0.188 Taxon2 \\ & + 0.33 Taxon3 - 0.062 Habitat1 + 582.851 \times (\lg M \times (1/(T+273))) \end{aligned} \quad (4)$$

式中, P 为次级生产力 ($\text{kJ AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); B 为平均生物量的对应能值 (kJ/m^2); M 为平均个体重能值 (kJ); T 为平均底层水温 ($^{\circ}\text{C}$); D 为平均水深 (m); $SubT=1$ 代表潮下带, $SubT=0$ 为潮间带; $InEpi$, 底内生物 ($InEpi=1$) 或底表生物 ($InEpi=0$); $MoEpi$, 移动生物 ($MoEpi=1$) 或固着生物 ($MoEpi=0$); $Taxon1$, 环节及甲壳动物 ($Taxon1=1$) 或其它类群 ($Taxon1=0$); $Taxon2$, 棘皮动物 ($Taxon2=1$) 或其它类群 ($Taxon2=0$); $Taxon3$, 昆虫 ($Taxon3=1$) 或其它类群 ($Taxon3=0$); $Habitat1$, 湖泊 ($Habitat1=1$) 或其它生境 ($Habitat1=0$)。

为了表述方便,下文中分别以 Brey90, T&D 和 Brey01 代表 Brey 经验公式, Tumbiolo 和 Downing 模型与 Brey 估算模型。为了便于方法间比较,所有估算结果均按照表 1 的转化系数换算为去灰分干重 ($\text{g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。考虑到在样本包含物种数较少时,估算模型的准确性较低的问题^[28],计算各个站位次级生产力的实际意义不大,因此本文中将次级生产力的空间变化限定为 5 个潮位进行相关分析。统计各季节和潮区的大型底栖动物平均次级生产力,利用统计软件 SPSS13.0 分析次级生产力在季节、潮区和估算方法间的差异显著性。

2 结果

2.1 大型底栖动物种类和生物量

调查共获得大型底栖动物 95 种,其中多毛类 31 种,甲壳类 20 种,软体类 33 种,其它生物包括棘皮动物、星虫和蠕虫等共 11 种。种类数在季节间差别不大,春季最多为 51 种,秋季次之为 49 种,冬、夏季均为 48 种。

图 2 示各季节大型底栖动物生物量在潮滩上的分布。底栖动物的空间分布不均,存在许多高密度聚集区,总体上随潮位的降低有升高趋势。底栖动物分布的时间变化呈现明显季节性,夏、秋季生物量明显高于冬、春季。潮间带大型底栖动物生物量的时、空变化显著。

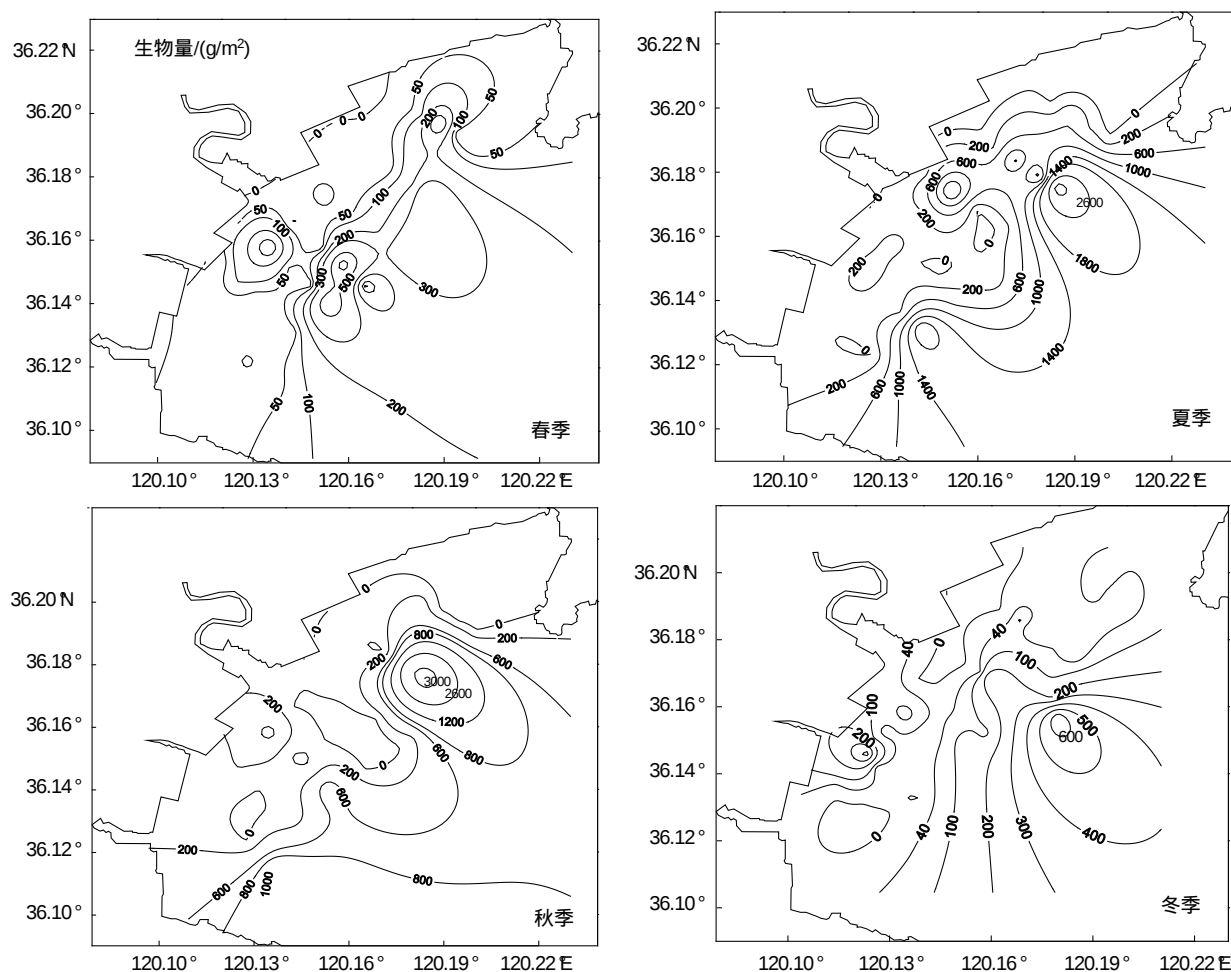


图 2 大型底栖动物生物量分布的季节变化

Fig. 2 Seasonal change in the distribution of the macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay

2.2 不同季节的海域次级生产力

应用 3 个模型估算了胶州湾潮间带大型底栖动物的年均次级生产力,估算结果间存在一定差异,Brey90 的估算值为 $29.90 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, T&D 估算值为 $5.33 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, Brey01 模型估算值为 $20.96 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

图 3 为调查海域大型底栖动物次级生产力的季节变化情况。该海域次级生产力以夏季最高,春季和秋季次之,冬季最低,季节间变化明显。3 个模型所得趋势一致,但估算数值存在一定差异,Brey90 和 Brey01 的次级生产力估算结果均在夏季出现明显高峰,达到 $60\text{--}70 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,而其它季节均较小,在 $10 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的水平。T&D 次级生产力估算值季节变化幅度不大,均低于 $10 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。双因素方差分析表明,本海域大型底栖动物次级生产力在季节间差异显著 ($P < 0.05$),而在估算方法间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3 不同潮区的年均次级生产力

各潮区大型底栖动物的年均次级生产力变化如表 2 所示,年均次级生产力以潮区 E 最高,其次为潮区 B,再次为潮区 C、D,最低为潮区 A。3 个模型估算值的变化规律一致,但数值上差别较大。在潮区 E 不同方法估算值差别最大,Brey90 方法估算值达到 52.92 g AFDW·m⁻²·a⁻¹,而 T&D 方法估算值为 12.18 g AFDW·m⁻²·a⁻¹。在潮区 A,估算值间差别较小,Brey90 和 Brey01 的估算值相近,约为 4 g AFDW·m⁻²·a⁻¹,而 T&D 方法估算值较小,为 1.53 g AFDW·m⁻²·a⁻¹。潮区 B、C、D 次级生产力分布也有类似的规律。双因素方差分析表明大型底栖动物年均次级生产力在潮区间差异显著 ($P < 0.05$),同时在计算方法间差异极显著 ($P < 0.01$)。

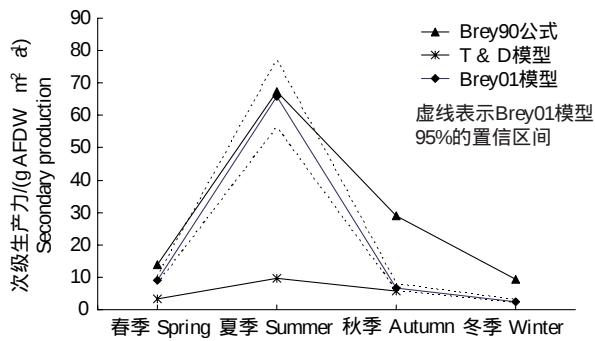


图 3 大型底栖动物次级生产力的季节变化趋势
Fig. 3 Seasonal change of the macrozoobenthic secondary production in the study area

表 2 胶州湾潮间带各潮区大型底栖动物全年平均次级生产力

Table 2 The annual secondary production of macrozoobenthos in each tidal zone of Jiaozhou Bay					
方法 Methods	潮区 A Area A	潮区 B Area B	潮区 C Area C	潮区 D Area D	潮区 E Area E
Brey90 / (g AFDW·m ⁻² ·a ⁻¹)	4.49	31.10	21.84	19.82	52.92
T&D / (g AFDW·m ⁻² ·a ⁻¹)	1.53	5.24	3.07	4.00	12.18
Brey01 / (g AFDW·m ⁻² ·a ⁻¹)	4.13	25.21	20.07	8.23	28.13

2.4 不同季节次级生产力在潮区的变化

大型底栖动物次级生产力在不同潮区和不同季节间的变化规律较为复杂,且不同方法的估算值存在明显差异(图 4)。最高次级生产力出现在夏季潮区 E,达到 20—100 g AFDW·m⁻²·a⁻¹;最低值出现于秋季潮区 C,约为 1 g AFDW·m⁻²·a⁻¹。分季节来看,春季各潮区次级生产力大小关系为潮区 D>E>B>C>A,各方法所得趋势基本一致。夏季次级生产力在潮区间的分布趋势为潮区 E>B>C>D>A,各个潮区差异较大。秋季次级生产力的分布为潮区 E>D>B>A>C,次级生产力水平与春季相近。冬季次级生产力较低,在各潮区波动较小。

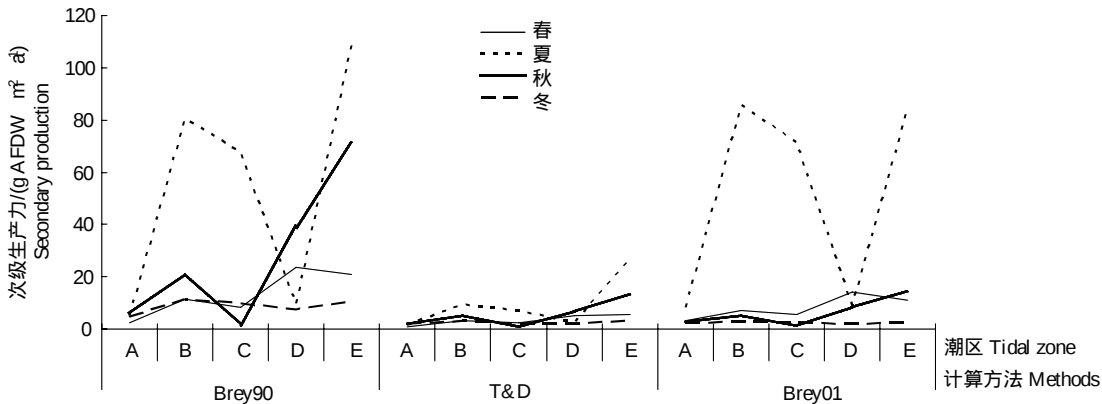


图 4 大型底栖动物次级生产力季节和潮区变化
Fig. 4 The change in the secondary production of macrozoobenthos among seasons and tidal zones

从估算方法来看,3 种方法所反映的次级生产力变化趋势基本一致,但数值上存在一定差异。在夏季,Brey90 和 Brey01 对各潮区次级生产力的估算值相近,T&D 对应估算值明显偏小。在秋、冬季,T&D 和 Brey01 对各潮区次级生产力的估算值相近,而 Brey90 对应估算值明显偏高。Wilcoxon 检验表明,3 个模型的估算值

在不同潮区和不同季节差异显著, Brey90 估算值显著大于 Brey01 ($P < 0.05$), Brey01 估算值极显著大于 T&D ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 次级生产力的时空分布

由于胶州湾西北部潮间带海域泥滩广布, 常规潮间带取样方法难以进行, 本研究采用了更为可行的取样方法, 这可能会导致研究结果与常规方法存在一定差别。但是在调查采样过程中, 通过对预设站位进行严格的随机取样, 在一定程度上可以保证取样的准确性。另一方面, 本次调查样品中包含大量蟹类、底栖鱼类等活动能力较大的物种, 这些种类在传统的潮间带调查中是较难采集的, 说明本调查方法对大型底栖动物取样可能有较好的代表性。由于常规方法取样困难, 本研究未做两种取样方法的比较研究。

胶州湾潮间带大型底栖动物年均次级生产力呈现出夏季>秋季>春季>冬季的变化趋势, 季节间差异显著 ($P < 0.05$)。进一步分析发现夏季养殖种类优势度极高, 菲律宾蛤仔的湿重生物量为 260.4 g/m^2 , 达到总生物量的 62.5%; 光滑蓝蛤丰度为 1217.9 个体/m^2 , 达到总丰度的 90.1%。养殖种类丰度、生物量在各季节和潮区所占比例如表 3 所示, 养殖种类数量变化强烈影响着整个群落的丰度和生物量水平, 这与袁伟等^[14]对胶州湾西部大型底栖动物次级生产力的研究结论相近。养殖生物次级生产力的季节变化主要与菲律宾蛤仔等种类的生产活动有关, 即春季蛤体迅速生长, 至夏季达到较高丰度和生物量; 在秋季养殖生物经历一个或多个收获过程, 数量迅速下降。另外养殖种类的收获作业对非养殖种类也可能造成损伤, 导致总生物量降低。

表 3 胶州湾潮间带养殖种类丰度和生物量变化

Table 3 The change in the abundance and biomass of the aquaculture species in the intertidal zone of Jiaozhou Bay

季节与潮区 Seasons & Tidal areas		丰度/(个体/m ²) Abundance	丰度比例/% Percentage of abundance	生物量/(g/m ²) Biomass	生物量比例/% Percentage of biomass
季节 Season	春季 Spring	27.1	24.3	76.0	61.7
	夏季 Summer	1315.7	97.0	387.1	92.9
	秋季 Autumn	139.6	79.9	254.9	89.9
	冬季 Winter	25.7	29.5	50.2	64.7
潮区 Tidal areas	潮区 A Area A	16.2	30.2	14.1	39.0
	潮区 B Area B	837.8	94.3	170.6	86.4
	潮区 C Area C	745.5	91.7	92.4	78.4
	潮区 D Area D	69.1	41.1	105.6	61.4
	潮区 E Area E	207.0	91.4	556.9	95.8

本研究中海域年均次级生产力的空间分布为潮区 E>潮区 B>潮区 C、D>潮区 A。在次级生产力较高的潮区如 B、C 和 E, 养殖种类的丰度与生物量占群落总量的比例较高(表 3)。养殖种类空间分布集中, 如菲律宾蛤仔主要分布于潮区 E, 在该潮区丰度与生物量分别达到该种类总量的 75% 和 83%; 光滑蓝蛤主要分布于潮区 B、C, 两潮区光滑蓝蛤数量达到该种总量的 99%; 缢蛏在潮区 B、C 的丰度与生物量比例分别达到本种类总量的 90% 和 93%。养殖种类在不同潮区的高密度集中分布可能主要受养殖播苗的影响。综上所述, 养殖活动可能是导致本海域大型底栖动物次级生产力时空分布变化的主要原因。

3.2 不同海区次级生产力比较

国内研究主要采用 Brey90 公式计算群落的次级生产力, 因此本文亦采用该模型估算数据进行海区间次级生产力比较。本海域大型底栖动物的年均次级生产力为 $29.90 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 此值高于福建海坛海峡潮间带 $3.72 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[17], 接近湄洲湾贝类养殖滩涂 $26.32 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[29], 低于深沪湾沙滩 $48.79 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[16]。不同海区环境特征各异, 温度、溶氧、底质类型、食物、动物个体大小与捕食关系等条件的地域差异均可能影响次级生产力的水平^[8]。

对比胶州湾海域次级生产力研究, 李新正等^[5]的估算值为 $18.65 \text{ g AFDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (1998—1999 年) 和

13.41 g AFDW·m⁻²·a⁻¹(2000—2004 年),与本文相比其值稍低。而袁伟等^[14]的研究结果为 47.34 g AFDW·m⁻²·a⁻¹,远高于本研究中的次级生产力水平。上述历史研究的调查范围主要位于潮下带海域,与本研究相比存在一定区域差异。相对于潮下带,潮间带底栖生物受潮水涨落的扰动较强,生物生存与生产过程受到限制;另一方面,潮间带接受的陆源物质输入更多,并且其水深较小有利于有机物沉积,因而食物来源更为丰富^[7,30],二者的综合作用可能导致了次级生产力水平在潮位间的差异。另外养殖活动如人工播苗和收获作业对次级生产力的高低也有着重要影响。

3.3 估算方法的比较

利用经验模型估算次级生产力是一种简单易行的方法,但使用时必须谨慎,因为在样本所含种类数较少的情况下,估算误差可能很大^[28]。但是随着样本包含物种数的增加,估算误差会迅速降低^[27]。因此,在种类较少时,利用经验模型对各个站位次级生产力的估算可能误差很大,但对群落整体的估算则可以较好地减小误差。本研究中发现潮区间底栖生物种类组成差别较大,部分潮区种类数较少,3 个模型对潮区次级生产力的估算值差异极显著;在季节间底栖动物种类数差别较小,同时 3 个模型对季节次级生产力的估算值差异不显著。这个结果一定程度上验证了样本包含物种数多寡与模型误差之间的关系。

虽然本研究中不同方法的次级生产力估算值差异较大,但所反映的时、空变化趋势大致相同。Wilcoxon 检验得到次级生产力估算值 Brey90> Brey01> T&D,差异显著,说明模型选择对次级生产力估算影响较大,这在研究中必须加以注意。由于群落次级生产力的真实值较难获得,因此一般难以评价经验模型的精确度。为了便于探讨,本研究比较不同方法的估算结果,将其中相吻合的数据认为是次级生产力的可靠估算值,从而对 3 个模型进行评价。在此前提下,发现 Brey90 对本海域夏季次级生产力和年均次级生产力的估算是可靠的;T&B 估算值在秋、冬两季可靠;Brey01 对海域夏、秋、冬季和年均次级生产力的估算均可靠。据此推测各模型的适宜应用范围,Brey90 公式适于估算海域年均次级生产力,对单一季节效果欠佳;T&B 模型适于秋、冬季次级生产力估算,在春、夏季误差较大;Brey01 模型在年均估算和多季节估算效果均较好,应用范围较广。

早期的次级生产力估算公式是在群落生活史基础之上提出的^[11],但由于群落生活史特征数据较难获取,且随环境因子变化很大,因此该方法难以应用^[7]。由于 Brey90 公式仅涉及群落的两个基础参数,使用方便,在国内外有广泛应用^[6,31]。Tumbiolo 利用 Brey90 公式验证了来自全世界 34 个不同海域的次级生产力资料,其中包括 125 种海洋无脊椎动物,结果表明 Brey90 公式较好地拟合了这些数据^[7]。但是 Brey90 公式中未涉及环境参数,实质上仅给出特定环境条件下群落次级生产力的平均水平,这可能使 Brey90 公式对不同季节次级生产力估算效果不理想,因为底栖动物次级生产过程受环境温度的强烈影响,即在高温条件下,生物代谢速率加快,次级生产力提高^[7,32]。T&B 模型中考虑了水温条件的变化,因而能更为准确地估算不同温度条件下的群落次级生产力。进一步的,由于生物的生长及代谢速率具有种类特异性,群落次级生产力水平依赖于其种类组成^[28],Brey01 模型考虑了群落主要类群组成参数,将群落分为几个主要类群并分别计算其次级生产力,理论上该方法更准确。Dolbeth 对几种应用较广的估算模型进行了检验,结果发现 T&D 和 Brey01 模型的估算值均较好地符合了群落实测次级生产力,并且 Brey01 模型在所有估算模型中最为准确^[12]。

进一步分析发现春、夏季潮间带底栖生物群落主要由小个体生物种类占据优势,春季为凸壳肌蛤(*Musculista senhousia*),夏季为光滑蓝蛤,二者优势度均较大。由于 Brey90 和 T&B 模型都未考虑群落结构因素,在底栖生物种类组成与建模数据差异很大的情况下,其估计值的准确性无法保障,这可能导致二者对春、夏季次级生产力的估算产生偏差。其次,T&B 模型的建模数据主要来源于西欧近岸海域,与本研究海域相比纬度略高^[7],这也可能导致该模型在本海域的适宜度降低。总之,影响底栖群落次级生产力的因素是复杂多样的,而数学模型无法全面考虑各种影响因素,因此其估算结果的准确性有限。该领域研究还待继续进行,以期得到更为可靠的计算方法。

致谢:本研究在样品分析过程中得到中国海洋大学海洋生命学院于子山教授和水产学院曾晓起教授的大力帮助,特此致谢。

References:

- [1] Bi H S. The environmental influences on macrobenthos in Jiaozhou Bay. *Marine Science*, 1997(1): 37-40.
- [2] Liu R Y. *Ecology and Living Resources of Jiaozhou Bay*. Beijing: Science Press, 1992: 109-296.
- [3] Edmondson W T. Secondary production. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 1974, 20: 229-272.
- [4] Waters T F. Secondary production in Inland waters. *Advances in Ecological Research*, 1977, 10: 91-164.
- [5] Li X Z, Wang H F, Zhang B L. The secondary production of macrobenthos in Jiaozhou Bay, Shandong. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(6): 527-533.
- [6] Liu Y, Xian W W, Sun S C, Wu Y Q. Primary studies on the biomass abundance and secondary production of macrobenthos in Changjiang estuary. *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 38(5): 749-756.
- [7] Tumbiolo M L, Downing J A. An empirical model for the prediction of secondary production in marine benthic invertebrate population. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, 114: 165-174.
- [8] Gong Z J, Xie P, Yan Y J. Theories and methods of studies on the secondary production of zoobenthos. *Journal of Lake Sciences*, 2001, 13(1): 79-88.
- [9] Yu Z S, Zhang Z N, Han J. Primary study on secondary production of macrobenthos in Bohai Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2001, 31(6): 867-871.
- [10] Edgar G J. The use of the size structure of benthic macrofaunal communities to estimate faunal biomass and secondary production. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1990, 137(3): 195-214.
- [11] Robertson A I. The relationship between annual production; biomass ratios and life spans for marine macrobenthos. *Oecologia*, 1979, 38(2): 193-202.
- [12] Dollbeth M, Lillebø A I, Cardoso P G, Ferreira S M, Pardal M A. Annual production of estuarine fauna in different environmental conditions: an evaluation of the estimation methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2005, 326(2): 115-127.
- [13] Ponti M, Colangelo M A, Ceccherelli V U. Composition, biomass and secondary production of the macrobenthic invertebrate assemblages in a coastal lagoon exploited for extensive aquaculture: Valle Smaracca (northern Adriatic Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 75(1/2): 79-89.
- [14] Yuan W, Zhang Z N, Yu Z S. Secondary productivity of macrobenthos in Jiaozhou Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 145-150.
- [15] Wang J H, Yang C W, Sun Y W, Yang Y L. Secondary productivity and biodiversity of macro-benthos in Xiangshan Bay. *Journal of Tianjin Agricultural University*, 2006, 13(2): 24-28.
- [16] Liang J Y, Cai L Z, Zhou X P, Yang J, Liu W M. Macrobenthic community and its secondary production on the intertidal sandflat in Shenhui Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2008, 27(4): 466-471.
- [17] Lu X M, Fang S H, Zhang Y P, Wu P R. Community structure and secondary production of macrobenthos in the intertidal zone of Haitan Strait, Fujian Province. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(3): 428-435.
- [18] Fang S H, Lu X M, Zhang Y P, Hong Y C. Spatio-temporal distribution and secondary production of macrobenthos in intertidal zone of Dongwu of Meizhou Bay, Fujian Province. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2009, 28(3): 392-398.
- [19] Li X Z, Wang J B, Wang H F, Zhang B L. Secondary production of macrobenthos from the East China Sea. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2005, 11(4): 459-462.
- [20] Li X Z, Yu Z S, Wang J B, Wang H F. Secondary production of macrobenthos in the southern Yellow Sea. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2005, 11(6): 702-705.
- [21] Li B Q, Li X Z, Yu H Y, Wang H F, Wang J B, Xu F S, Zhang B L. Macrobenthic mollusca fauna and its relations to environmental factors in Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(3): 193-198.
- [22] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine and Standardization Administration of People's Republic of China. GB/T 12763.6—2007 Specification for oceanographic survey-part 6: marine biological survey. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [23] Crips D J. Energy flow measurements//Holme N A. McIntyre A D, eds. *Methods for the Study of Marine Benthos*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1984: 284-366.
- [24] Brey T, Müller-Wiegmann C, Zittler Z, Hagen W. Body composition in aquatic organisms-ecological significance of relations between mass, elements and energy content. [2010-4-17]. <http://www.thomas-brey.de/science/virtualhandbook>.

- [25] Brey T. Estimating productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight. *Archive of Fishery and Marine Research*, 1990, 32: 329-343.
- [26] Mistri M, Rossi R, Fano E A. 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(5): 605-616.
- [27] Brey T. Population dynamics in benthic invertebrates. [2010-3-31]. <http://www.thomas-brey.de/science/virtualhandbook>.
- [28] Sprung M. Estimating macrobenthic secondary production from body weight and biomass: a field test in a non-boreal intertidal habitat. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 100: 103-109.
- [29] Jin L, Lin X C, Cai L Z. Study on secondary production of macrobenthos in shellfish-farming mudflat in Meizhou Bay. *Marine Environmental Science*, 2009, 28(S1): 8-11.
- [30] Honjo S. Material fluxes and modes of sedimentation in the mesopelagic and bathypelagic zones. *Journal of Marine Research*, 1980, 38: 53-97.
- [31] Warwick R M, Clarke K R. Comparing the severity of disturbance: a meta-analysis of marine macrobenthic community data. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 92(3): 221-231.
- [32] Robinson W R, Peters R H, Zimmerman J. The effects of body size and temperature on metabolic rate of organisms. *Canadian Journal of Zoology*, 1983, 61: 281-288.

参考文献:

- [1] 毕洪生. 胶州湾环境对底栖生物的影响. *海洋科学*, 1997, (1): 37-40.
- [2] 刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社, 1992: 109-296.
- [5] 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. *海洋与湖沼*, 2005, 36(6): 527-533.
- [6] 刘勇, 钱薇薇, 孙世春, 吴耀全. 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*, 2008, 38(5): 749-756.
- [8] 龚志军, 谢平, 阎云君. 底栖动物次级生产力研究的理论与方法. *湖泊科学*, 2001, 13(1): 79-88.
- [9] 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. *青岛海洋大学学报: 自然科学版*, 2001, 31(6): 867-871.
- [14] 袁伟, 张志南, 于子山. 胶州湾西部海域大型底栖动物次级生产力初步研究. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 145-150.
- [15] 王金辉, 杨春旺, 孙亚伟, 杨元利. 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*, 2006, 13(2): 24-28.
- [16] 梁俊彦, 蔡立哲, 周细平, 杨洁, 刘伟明. 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*, 2008, 27(4): 466-471.
- [17] 吕小梅, 方少华, 张跃平, 吴萍茹. 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*, 2008, 54(3): 428-435.
- [18] 方少华, 吕小梅, 张跃平, 洪一川. 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*, 2009, 28: 392-398.
- [21] 李宝泉, 李新正, 于海燕, 王洪法, 王金宝, 徐凤山, 张宝琳. 胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系. *海洋与湖沼*, 2005, 36(3): 193-198.
- [22] 国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会. 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, 2007.
- [29] 金亮, 林秀春, 蔡立哲. 湄洲湾贝类养殖滩涂大型底栖动物次级生产力研究. *海洋环境科学*, 2009, 28(S1): 8-11.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwei, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil δ ¹⁵ N under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元