

DOI: 10.5846/stxb201311292849

陈亮东, 栾磊磊, 王庆, 何学佳, 袁丹妮, 柴召阳, 杨宇峰. 珠江口桂山岛海域桡足类休眠卵对浮游种群的潜在补充及其影响因素. 生态学报, 2015, 35(10): 3373-3381.

Chen L D, Luan L L, Wang Q, He X J, Yuan D N, Chai Z Y, Yang Y F. The recruitment potential and the impact on copepod eggs into plankton in the Guishan Island region in the Pearl River Estuary, China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(10): 3373-3381.

珠江口桂山岛海域桡足类休眠卵对浮游种群的潜在补充及其影响因素

陈亮东¹, 栾磊磊¹, 王庆¹, 何学佳², 袁丹妮¹, 柴召阳¹, 杨宇峰^{1,*}

¹ 暨南大学生物研究所, 水体富营养化与赤潮防治广东省教育厅重点实验室, 广州 510632

² 暨南大学赤潮与海洋生物学研究中心, 广州 510632

摘要: 于 2011 年 7 月和 2012 年 8 月分 2 个航次采集珠江口桂山岛海域表层沉积物, 首次研究珠江口海域桡足类的休眠卵潜在补充量。结果显示: 该海域桡足类休眠卵呈不均匀分布, 2011 年 7 月沉积物休眠卵潜在补充量介于 1.7×10^5 — 1.0×10^7 卵/ m^3 之间, 平均值为 2.1×10^6 卵/ m^3 ; 2012 年 8 月沉积物休眠卵潜在补充量介于 8.9×10^4 — 4.3×10^6 卵/ m^3 之间。呈现防波堤外深水区 > 防波堤内养殖区 > 防波堤外浅水区的分布格局。统计分析显示桡足类休眠卵潜在补充量和沉积物含水率呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 和水深呈显著正相关 ($P < 0.05$), 表明水深和沉积物含水量是影响桡足类休眠卵潜在补充量的重要因素。休眠卵不同冷藏时间萌发结果发现: 萌发持续时间介于 10—36d 之间, 休眠卵萌发类型均为同步萌发型。萌发休眠卵种类为刺尾纺锤水蚤 (*Acartia spinicauda*) 和瘦尾胸刺水蚤 (*Centropages tenuiremis*), 表明沉积物中休眠卵是上述两种桡足类水体种群的重要补充。筛绢网孔径 50—200 μm 之间休眠卵萌发量占总萌发量的 93%, 表明采用 50 μm 和 200 μm 筛绢网来分离桡足类休眠卵具有较好的代表性。

关键词: 珠江口; 桡足类; 休眠卵; 潜在补充量

The recruitment potential and the impact on copepod eggs into plankton in the Guishan Island region in the Pearl River Estuary, China

CHEN Liangdong¹, LUAN Leilei¹, WANG Qing¹, HE Xuejia², YUAN Danni¹, CHAI Zhaoyang¹, YANG Yufeng^{1,*}

¹ Institute of Hydrobiology, Ji'nan University, Key Laboratory of Eutrophication and Red Tide Control, Education Department of Guangdong Province, Guangzhou 510632, China

² Research Center for Harmful Algae and Marine Biology, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China

Abstract: Hatching experiments to determine the recruitment potential of copepod eggs into the planktonic population were conducted using sediment samples collected during two cruises from the Guishan Island area in the Pearl River Estuary, China, in August 2011 and July 2012. The horizontal distribution of the recruitment potential was uneven, ranging from 1.7×10^5 to 1.0×10^7 eggs/ m^3 with a mean value of 2.1×10^6 eggs/ m^3 in 2011 and ranging from 8.9×10^4 to 4.3×10^6 eggs/ m^3 in 2012. In the abyssal zone outside the breakwater the recruitment potential was higher than inside the culture area and in the shoal waters outside the breakwater. Statistical analysis showed that the recruitment potential of copepod resting eggs was positively significantly correlated with both sediment moisture content, and water depth ($P < 0.05$). Therefore depth and

基金项目: 国家科技支撑项目 (2012BAD18B01); 国家自然科学基金项目 (U1301235, 41173079); 高等学校博士学科点专项科研基金 (20124401120013); 广东省教育厅育苗工程项目 (2012LYM_0025)

收稿日期: 2013-11-29; **网络出版日期:** 2014-05-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tyf@jnu.edu.cn

sediment moisture content are important factors that influence the recruitment potential of copepod resting eggs. The hatching time ranged from 10 to 36 days after a cooling period. The resting eggs were identified after they became adults to be *Acartia spinicauda* and *Centropages tenuiremis*. The egg bank in the local sediments is an important source for the two kinds of copepod in the Pearl River Estuary, The recruitment potential of copepod resting eggs collected with a 50 μm and 200 μm mesh net accounted for 93% of the total recruitment, which proved that the two mesh sizes can be effective for separating copepod resting eggs.

Key Words: Pearl River Estuary; copepod; resting egg; potential recruitment

河口环境变化剧烈,存在明显波动,生态系统短期内生物种类和密度会有变化,但从长期来看,整个生态系统存在明显的稳定性。河口无脊椎动物通过迁移和滞育等方式适应河口生态环境,保持水体中种群数量^[1,2]。滞育存在多种形式,如卵滞育、幼体滞育和成体滞育,有些种类还可以形成孢囊^[3]。休眠卵可分为两大类:滞育卵和夏卵。研究发现,海洋桡足类有 5 科(纺锤水蚤科、胸刺水蚤科、歪水蚤科、角水蚤科和宽水蚤科)38 种加上河口种共有 49 种可产生休眠卵^[4,5]。休眠卵能够在沉积物中保存数十年甚至上百年,形成的卵库不仅能够使桡足类种群在恶劣的环境得以保存和延续,且对生物微进化动力学有着深远的影响^[6]。关于桡足类休眠卵分布的报道主要集中在北温带 30°N—60°N 之间,亚热带的研究报道较少^[4],有关珠江口海域沉积物中桡足类休眠卵的研究仍为空白。

珠江口地处亚热带,是中国三大河口之一。受珠江径流、广东沿岸流和外海水潮流的影响,珠江口环境因子因此波动剧烈、生态环境独特、生物组成多样化。依照盐度的不同,浮游动物群落结构在淡水控制区、咸淡水控制区和外海水控制区呈现不同的特征,其中滨海咸淡水控制区环境因子波动最为剧烈,桡足类种类多样性和丰度介于其它两个区之间^[7]。浮游桡足类作为海洋食物网中的关键环节,在生态系统起到承上启下的作用。珠江口渔业资源丰富,是我国南海区的主要渔场之一,因此,饵料浮游桡足类种群状况与该海域渔业资源有密切关系。本研究选取了珠海桂山岛海域这一珠江口咸淡水区的中心作为研究海域,就该海域沉积物休眠卵的分布以及对浮游桡足类种群潜在补充量进行研究,对于阐明亚热带河口桡足类种群补充机制和环境演变具有重要的科学意义。

1 材料和方法

1.1 站位描述和样品采集

沉积物样品于 2011 年 8 月和 2012 年 7 月采集。2011 年 8 月共设置 12 个站点(S1—S12),其中 S1—S3 靠近牛头岛浅水区, S4—S6 地处桂山岛和牛头岛中间深水区, S7、S8、S11、S12 位于鱼类网箱养殖区, S9、S10 位于防波堤外。2012 年 7 月样品采自桂山岛 6 个站点,分别为防波堤外(S2、S5、A1)和防波堤内(A2、S8、S11), A1 与 A2 为新增站点,站位分布如图 1 所示。

用彼得逊采泥器采集各站点表层 0—5 cm 的沉积物。水温和盐度等用 YSI556 多参数水质监测仪现场测

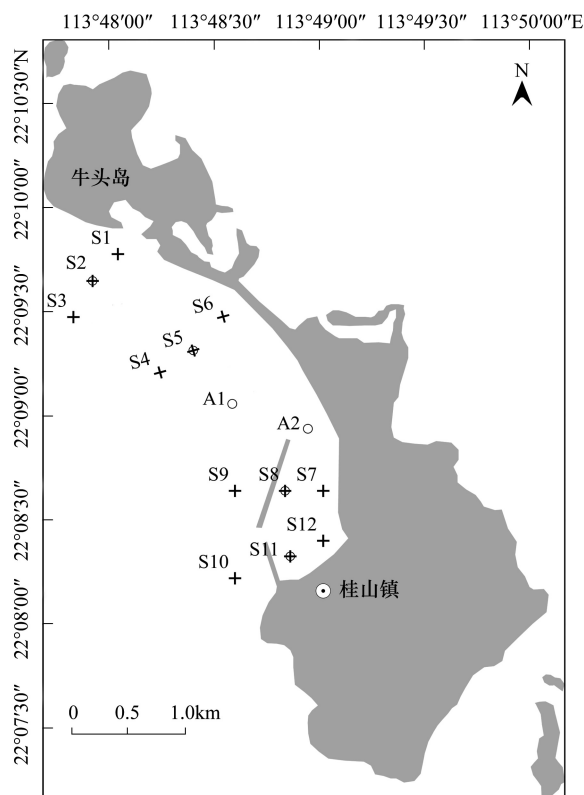


图 1 桂山岛海域沉积物采样站位图

Fig.1 Study area and sampling sites in Guishan island

2011 年采集 12 个站点(S1—S12); 2012 年采集 6 个站点(S2、S5、S8、S11、A1、A2)

定。浮游动物采集使用浅水Ⅱ型浮游生物网(网口内径 31.6 cm,网衣长 140 cm,网目孔径 169 μm ,网口面积 0.08 m^2)由底层至表层垂直拖网,甲醛溶液固定(终浓度 5%)。

1.2 样品萌发与分析

1.2.1 样品萌发

沉积物样品置于 4℃ 冷藏保存,2011 年样品冷藏 36 周后进行休眠卵萌发,2012 年沉积物样品分别冷藏 4 周、20 周后进行萌发,量取表层沉积物并充分混匀,分别使用 50 μm 和 200 μm 筛绢网过滤。为研究不同孔径筛绢网对休眠卵萌发总量的影响,收集 2011 年沉积物 <50 μm 、50—200 μm 和 >200 μm 沉积物颗粒萌发。2012 年沉积物筛选分离收集 50—200 μm 颗粒于 100 mL 烧杯中,添加经 0.45 μm 滤膜过滤的天然海水并置于 GXZ 型 300C 智能光照培养箱中培养(温度(24±1)℃,盐度 30,光照 L:D=12h:12h)。每两天用 20 μm 筛绢网过滤取截留部分,添加鲁格氏液固定,置于 Olympus SZX7 解剖镜下镜检孵化幼体数,并更换新鲜过滤海水继续萌发,通过曝气和去除小颗粒沉积物、清洁水体及完全再悬浮能够获得最大的孵化量^[7]。若连续 8d 没有观察到幼体孵出时,即判定现有存活卵全部孵出。同时另取平行样品萌发幼体于培养烧杯中,培养条件同上,用浓缩后的扁藻(*Tetraselmis chuii*)和等鞭金藻(*Isochrysis* sp.)喂养,每天投喂 1 次,维持培养烧杯中微藻浓度在 10^4 — 10^5 个/mL^[9]。培养过程中定期更换过滤海水,培养 12—14d 后成体发育完成,将产卵后的成体镜检确定种类。

1.2.2 浑浊度和沉积物含水率测定

底层海水浑浊度依照《海洋监测规范》GB17378.4—2007 分光光度法测定,沉积物含水率依照《海洋监测规范》GB17378.5—2007 重量法测定。

1.2.3 数据处理

数据由 SPSS17.0 进行统计学分析,由 Origin 8.0 进行作图。

2 结果

2.1 水环境特征和水体桡足类组成

2011 年 8 月对采样海域进行了为期 1 个月的监测,温度和盐度波动范围分别为 27.9—30.8℃ 和 20.8—33.4,平均温度和盐度分别为 29.7℃ 和 24.2。2012 年 7 月水体共发现桡足类 7 种(表 1),其中已报道产休眠卵的种类有刺尾纺锤水蚤(*Acartia spinicauda*),太平洋纺锤水蚤,左指华哲水蚤。

2.2 50—200 μm 孔径休眠卵潜在补充量组成

50—200 μm 筛绢网孔径之间分离桡足类休眠卵萌发量占桡足类休眠卵萌发总量 93%,除 S1 在 50 μm 以下休眠卵萌发量占 17%和 S3 在 200 μm 以上休眠卵萌发量占 30%,其余站点在 <50 μm 和 >200 μm 筛绢网分离的休眠卵萌发量较少,仅占 1.1%和 5.9%(图 2)。

表 1 2012 年 7 月桂山岛海域哲水蚤种类组成

Table 1 Calanoida species in Guishan in Jul, 2012

名称 Species	种类 Species
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>
刺尾纺锤水蚤	<i>Acartia spinicauda</i>
锥形宽水蚤	<i>Temora turbinata</i>
太平洋纺锤水蚤	<i>Acartia pacific</i>
亚强次真哲水蚤	<i>Subeucalanus subcrassus</i>
微刺哲水蚤	<i>Canthocalanus pauper</i>
左指华哲水蚤	<i>Sinocalanus laevidactylus</i>

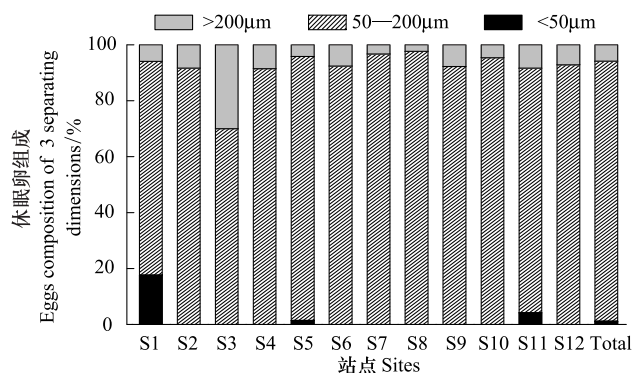


图 2 不同分离孔径桡足类休眠卵组成(2011 年 8 月沉积物)

Fig.2 Resting eggs composition of different separation size in August 2011

1.3 桡足类休眠卵空间分布

桂山岛海域桡足类休眠卵萌发培养成体为刺尾纺锤水蚤和瘦尾胸刺水蚤 (*Centropages tenuiremis*) 两种,其中刺尾纺锤水蚤为主要种类。休眠卵潜在补充量介于 1.7×10^5 — 1.0×10^7 卵/ m^3 之间,平均潜在补充量为 2.1×10^5 卵/ m^3 。防波堤外浅水区 (S1, S2, S3) 最低 (平均值为 3.4×10^5 卵/ m^3), 防波堤内养殖区 (S7, S8, S11, S12) 次之 (平均值为 9.3×10^5 卵/ m^3), 防波堤外深水区 (S4, S5, S6, S9, S10) 最高 (平均值 4.0×10^6 卵/ m^3)。防波堤外深水区潜在补充量明显高于防波堤外浅水区 ($P<0.05$), 桡足类卵库呈不均匀分布 (图 3)。

统计结果表明, 桂山岛海域桡足类休眠卵潜在补充量和沉积物含水率呈极显著正相关 ($P<0.01$), 卵潜在补充量和水深、沉积物含水率和浑浊度均呈显著正相关 ($P<0.05$) (表 3)。

表 2 桂山岛桡足类卵含量和 3 个环境因子相关性分析

Table 2 Pearson's correlation coefficients between recruitment of copepod eggs and 3 environment factors				
指标 Index	卵潜在补充量 Resting eggs potential recruitment	沉积物含水率 Sediment moisture content	浑浊度 Turbidity	水深 Water depth
卵潜在补充量 Resting eggs potential recruitment	1	0.748 **	-0.287	0.588 *
沉积物含水率 Sediment moisture content		1	-0.636 *	0.21
浑浊度 Turbidity			1	0.028
水深 Water depth				1

* $P<0.05$, ** $P<0.01$

2012 年 7 月沉积物冷藏 4 周后,潜在补充量在 8.9×10^4 — 5.6×10^5 卵/ m^3 之间 (图 4), 冷藏 20 周潜在补充量在 9.1×10^5 — 4.3×10^6 卵/ m^3 之间,不同冷藏时间后最高潜在补充量均出现在防波堤外深水区 S5。冷藏 20 周后潜在补充量 (平均 1.63×10^6 卵/ m^3) 明显高于冷藏 4 周后 (平均为 2.1×10^5 卵/ m^3) ($P<0.05$)。

2.4 休眠卵萌发模式

2011 年全部站点沉积物休眠卵萌发持续时间均在 10—36d 之间,属于同步萌发型,其中防波堤外 S1—S5 萌发持续时间为 10—14d,而防波堤内 S6—S8 持续时间为 32—36d (图 5)。

2012 年 7 月全部站点萌发持续时间为 10—34d,属于同步萌发型。冷藏 4 周后萌发量很少,萌发时间分散,最长萌发持续时间 26d;冷藏 20 周后,萌发量显著提高,各站点萌发持续时间呈较明显差异:防波堤外休眠卵萌发持续时间为 10—14d,而防波堤内的 A2、S8 萌发持续时间为 32—34d (图 6)。

3 讨论

3.1 珠江口桡足类休眠卵形成和萌发的生态学意义

浮游-底栖耦合是水生态系统通过物质和能量传递而将浮游系统和底栖系统融为一体的过程。底层生物在水体浮游生物的结构和功能中很可能扮演一个不可或缺的角色^[10,11]。在环境条件恶劣时,桡足类休眠卵的形成避免了种群在该区域的消失,使其在环境条件有利时补充、重建浮游种群,这种类似“蓄水池”作

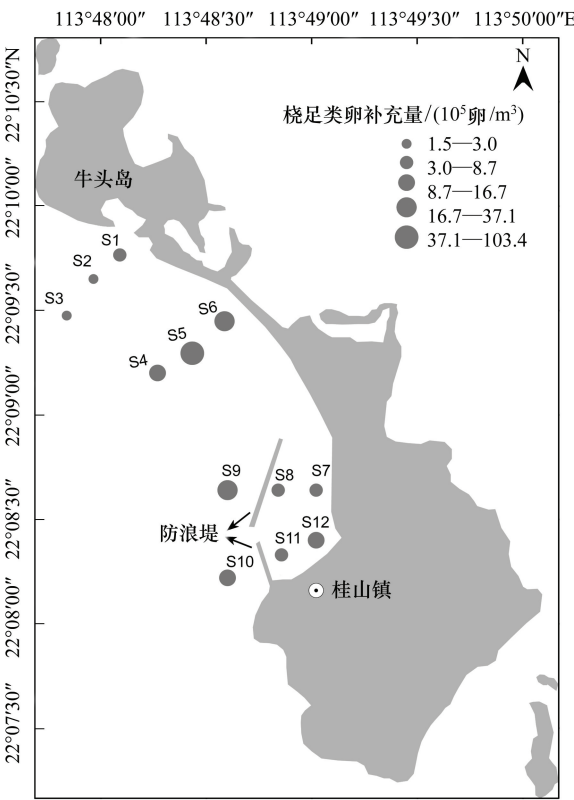


图 3 桂山岛桡足类休眠卵潜在补充量水平分布 (2011 年 8 月)
Fig. 3 The spatial distribution of potential recruitment of copepod resting eggs in August, 2011

用,提高了桡足类对复杂河口环境的适应能力。Pettaquamscutt 河口在沉积物深度达 22 cm 处仍有桡足类休眠卵萌发^[12],推测在沉积物表层以下仍可能有大量的活性休眠卵存在,实际休眠卵潜在补充量可能远大于实验结果。2011 年桂山岛海域表层沉积物中桡足类潜在补充量分别介于 1.7×10^5 — 1.0×10^7 卵/ m^3 之间;2012 年桡足类潜在补充量分别为 9.1×10^5 — 4.3×10^6 卵/ m^3 ,首次证实了我国亚热带河口—珠江口水域桡足类休眠卵的大量存在,揭示了沉积物中卵库对维持珠江口桡足类种群稳定具有重要意义。

在冬季,受浙闽沿岸流的作用,诸如瘦尾胸刺水蚤等北方种被潮流携带进入桂山岛附近海域;但在夏季,受南海洋流和珠江径流的影响,瘦尾胸刺水蚤消失^[13]。本研究证实了水体中冬季出现的瘦尾胸刺水蚤种群波

动,不仅受到潮流的影响,还受到沉积物中休眠卵萌发的补充。刺尾纺锤水蚤在全年均为优势种,其优势度受上述潮流和径流以及季节温度波动等影响,丰水期和枯水期丰度有明显的差异,丰水期有较大的优势度,进入枯水期后优势度降低^[14]。桂山岛海域桡足类休眠卵的潜在补充对其水体中优势度的变化有重要影响。

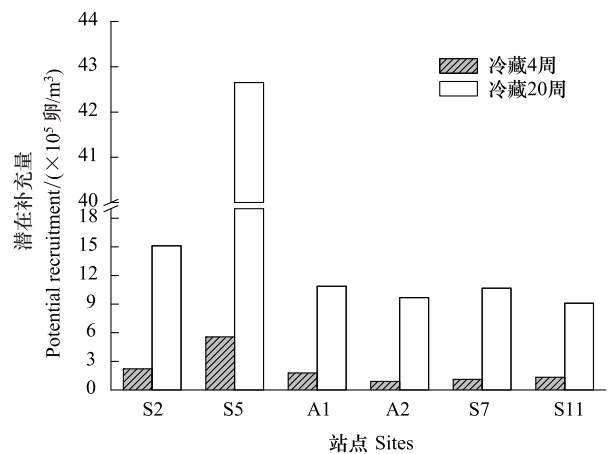


图4 桂山岛不同冷藏时间桡足类休眠卵潜在补充量(2012年)

Fig.4 The potential distribution of resting eggs of copepod after different refrigeration time in 2012

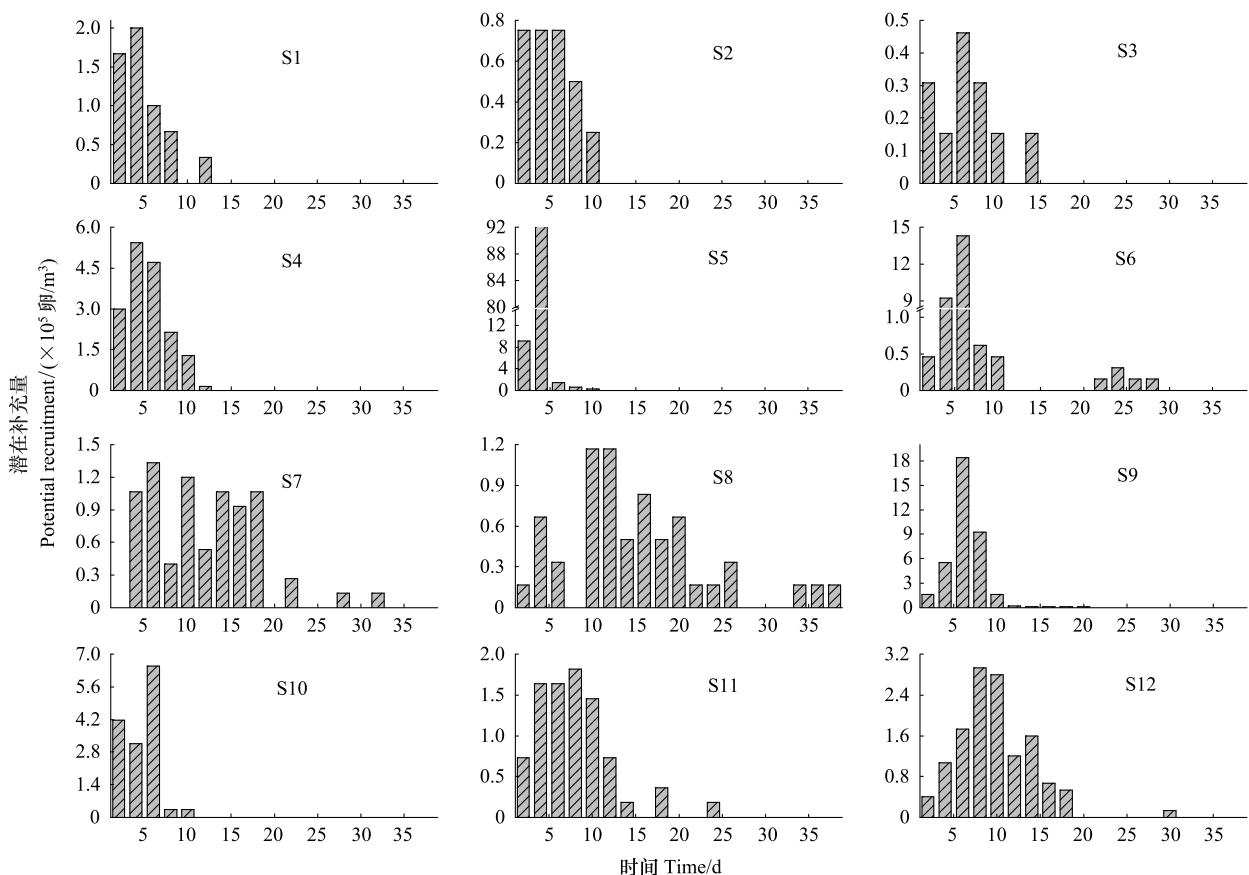


图5 桂山岛 2011 年沉积物样品中桡足类休眠卵孵化过程

Fig.5 Hatching process of copepod resting eggs in the sediment of Guishan Island sea area (2011)

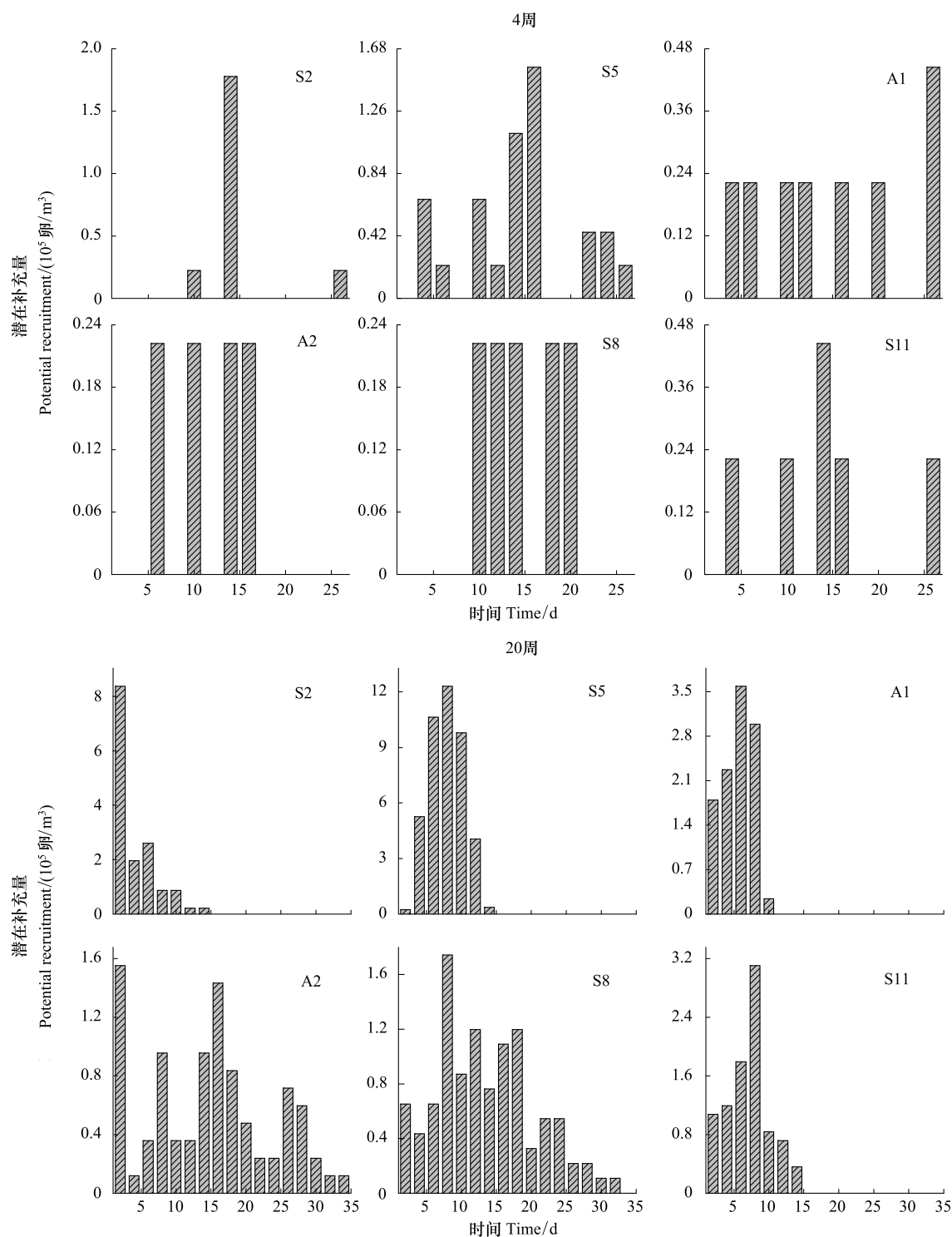


图6 桂山岛2012年沉积物冷藏4周、20周绕足类休眠卵孵化过程

Fig.6 Hatching process of copepod resting eggs after 4 weeks and 20 weeks of Guishan Island sediment in 2012

3.2 休眠卵水平分布差异成因分析

桂山岛绕足类卵库潜在补充量分布特征为深水区高于浅水区,防波堤外高于防波堤内。以防波堤为界,堤外浅水区平均水深8.2 m,堤外深水区平均水深15.7 m,堤内浅水区水深4.8 m,绕足类休眠卵卵库潜在补充量和水深呈显著正相关($P < 0.05$)。沉积作用、沉积物再悬浮和沉积物转移作用是休眠卵在沉积物中积累和分布的主要影响因子^[15-16]。水深(<20 m)和底层海水浑浊度能够较好的反映休眠卵沉积作用和沉积物再悬

浮程度。在水体桡足类分布均匀的情况下,水深越深休眠卵在沉积物中积累量越大;在水深<20 m 的开阔海域,由于风浪和潮流等引起的水体流动和水体压力会使表层沉积物再悬浮^[16],促使休眠卵萌发,从而降低沉积物中休眠卵数量;此外,有研究发现沉积物中休眠卵丰度与沉积物中细颗粒泥所占比例呈正相关关系^[15-16]。沉积物粒径分析显示本研究区域除 S10 为粉砂质砂外,其余站点沉积物均为粘土质粉砂,因此沉积物粒径组成不是该区域桡足类休眠卵潜在补充量分布差异的主要原因。休眠卵随水深积累以及再悬浮萌发休眠卵数量的降低,可能是防波堤外浅水区休眠卵潜在补充量明显低于深水区的主要原因。即在防波堤外深水区,水深越深,沉积物中休眠卵积累量越大,沉积物再悬浮萌发量越少。

沉积物含水率是沉积物中水分含量的表征值。已有研究发现,沉积物含水率直接影响沉积物的力学性质,含水率的增加,底质沉积物的强度逐渐降低。同时,沉积物天然含水率越高,则贯入阻力越小^[17],休眠卵暴露在沉积物表面的可能性减少,进而减少休眠卵重新萌发和被其它动物的捕食,有利于在沉积物中积累。

桡足类休眠卵的萌发量因河口环境污染而急剧下降。Lindley 研究发现,在大不列颠岛南部的 3 个河口,随着污染的加剧,沉积物中休眠卵的萌发率分别为 92%、48% 和 14%^[8]。珠江口沉积物中的持久性有机污染物(如 DDT 和多环芳烃)会给底层生物带来毒害效应^[18];同时,重金属等污染物也会降低桡足类休眠卵的萌发量^[19]。桂山岛海域因工业废水和生活污水排放,其沉积物重金属为中等污染^[20],可能降低珠江口海域桡足类休眠卵的补充量水平。此外,长时间处于硫化物和缺氧环境会影响桡足类卵活性^[21],在桂山岛海域,防波堤内养殖区沉积物富含养殖排放的有机质,有机质代谢产生硫化物并产生缺氧环境,降低养殖区沉积物中的休眠卵活性,这可能是防波堤内养殖区桡足类潜在补充量低于防波堤外海域的原因之一。

3.3 桡足类休眠卵潜在补充模式

休眠卵的萌发模式对桡足类浮游种群的补充动态和微进化有着重要的影响。桡足类休眠卵存在不同萌发类型,不同萌发类型的萌发持续时间不同^[5]。一类为零星萌发型,休眠卵萌发持续时间较长;另一类称为同步萌发型,休眠卵萌发较为集中,持续时间较短。不同萌发类型受到温度、光照和光周期等环境因子等影响^[22]。2011 年桂山岛海域 12 个站点中,萌发持续时间较为集中(10—34d),均为同步萌发型。防波堤内外休眠卵萌发持续时间呈现明显差异($P<0.01$),防波堤内萌发持续时间(24—32d),比防波堤外的萌发持续时间(10—12d)明显延长。结合本课题组前期沉积物 TN、TP 结果^[20],进行萌发持续天数和 TN、TP 浓度相关分

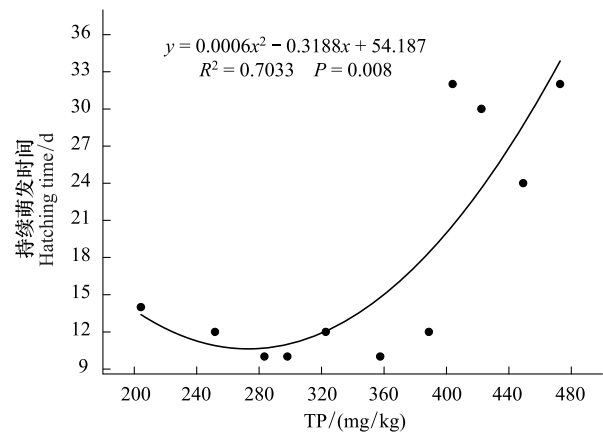


图 7 桡足类卵萌发天数与 TP 回归关系
Fig.7 Regression relations between hatching time(day) and TP

析显示:桡足类的休眠卵持续时间和 TN 呈现显著正相关($P<0.05$),与 TP 呈现极显著正相关($P<0.01$),卵萌发天数和 TP 满足二次多项回归方程, $P = 0.008$, $R^2 = 0.703$ (图 7)。这种萌发天数呈与防波堤内外差异及和 TN、TP 浓度的显著正相关关系,可能与防波堤内养殖污染有关,养殖区内大量有机质引发 TN 和 TP 浓度增加,进而产生厌氧、硫化物等环境,降低桡足类休眠卵对萌发条件响应的敏感性。

桡足类休眠卵分为即时卵和滞育卵,滞育卵因其特殊结构能够存活数十年甚至上百年^[23],在其萌发之前有几周甚至数月的强制休眠期^[5,22]。2012 年桡足类休眠卵潜在补充量分别从平均 2.1×10^5 卵/ m^3 (冷藏 4 周后)上升到 1.6×10^6 卵/ m^3 (冷藏 20 周后),2011 年桡足类休眠卵潜在补充量冷藏 36 周后平均为 3.1×10^6 卵/ m^3 (4 个与 2011 年对应站点)。结果显示冷藏时间延长提高了桡足类休眠卵萌发量,此前有关桡足类休眠卵的研究也有类似的报道^[24-25]。根据休眠卵萌发量随冷藏时间延长而增加的现象,推测珠江口海域沉积物中大部分休眠卵为滞育卵,经历较长的冷藏时间(超过滞育期)之后,在适宜的条件下大量集中式萌发,进而迅速扩大水体桡足类的种群规模。

3.4 休眠卵分离方法

目前研究中筛选沉积物中休眠卵所用的筛绢网孔径大小不一。Jiang 等与 Wang 等在研究厦门湾沉积物中桡足类潜在补充量和重金属对太平洋纺锤水蚤休眠卵孵化的影响时,用 200 μm 和 50 μm 筛绢网筛选,收集 50—200 μm 之间的颗粒孵化^[19,26]。Marcus 用 48 μm 孔径筛绢网来研究轮虫、枝角类和桡足类沉积物中休眠卵^[24],Marcus 研究 Buzzards 海湾沉积物时,用 70 μm 孔径筛绢网筛选 *Labidocera aestiva* 休眠卵^[15]。Siokou-Frangou 在研究沉积物中休眠卵时使用 200 μm 和 40 μm 筛绢网筛选休眠卵进行萌发^[27]。本文分别使用 200、50 μm 两种筛绢网分离桂山岛沉积物中休眠卵,结果证明 50 μm 以下、200 μm 以上虽然均有桡足类休眠卵孵化,但是含量很少(占 7%),大部分休眠卵集中分布在 50—200 μm 之间(93%)。本研究证明用 50、200 μm 孔径的筛绢网可以筛选出沉积物中大部分休眠卵,满足一般休眠卵分离实验,但是并不能完全反映沉积物中休眠卵实际数量,建议在研究柱状沉积物等少量沉积物样品分离时,应将筛选的范围适当扩大,以便更准确地反映沉积物中休眠卵的实际数量。

参考文献 (References):

- [1] Cáceres C E. Dormancy in invertebrates. *Invertebrate Biology*, 1997, 116(4): 371-383.
- [2] Morgan C A, Cordell J R, Simenstad C A. Sink or swim? Copepod population maintenance in the Columbia River estuarine turbidity-maxima region. *Marine Biology*, 1997, 129(2): 309-317.
- [3] 姜晓东, 王桂忠, 李少菁, 孔祥会, 管卫兵. 桡足类滞育规律研究. *生态学报*, 2004, 24(3): 517-523.
- [4] Marcus N H. Ecological and evolutionary significance of resting eggs in marine copepods: past, present, and future studies. *Hydrobiologia*, 1996, 320(1/3): 141-152.
- [5] Engel M, Hirche H J. Seasonal variability and inter-specific differences in hatching of calanoid copepod resting eggs from sediments of the German Bight (North Sea). *Journal of Plankton Research*, 2004, 26(9): 1083-1093.
- [6] Hairston N G Jr, De Stasio B T Jr. Rate of evolution slowed by a dormant propagule pool. *Nature*, 1988, 336(6196): 239-242.
- [7] Lin D, Li X, Fang H D, Dong Y H, Huang Z X, Chen J H. Calanoid copepods assemblages in Pearl River Estuary of China in summer: Relationships between species distribution and environmental variables. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2011, 93(3): 259-267.
- [8] Lindley J A, George C L, Evans S V. Viability of calanoid copepod eggs from intertidal sediments: a comparison of three estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, 162: 183-190.
- [9] Milione M, Zeng C S. The effects of algal diets on population growth and egg hatching success of the tropical calanoid copepod, *Acartia sinjiensis*. *Aquaculture*, 2007, 273(4): 656-664.
- [10] Hairston N G Jr, Hansen A M, Schaffner W R. The effect of diapause emergence on the seasonal dynamics of a zooplankton assemblage. *Freshwater Biology*, 2000, 45(2): 133-145.
- [11] Bell E M, Weithoff G. Benthic recruitment of zooplankton in an acidic lake. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 285-286: 205-219.
- [12] Marcus N H, Lutz R V, Burnett W, Cable P. Age, viability, and vertical distribution of zooplankton resting eggs from an anoxic basin: evidence of an egg bank. *Limnology and Oceanography*, 1994, 39(1): 154-158.
- [13] Lee C N W, Chen Q C. A historical and biogeographical analysis of the marine planktonic copepod community in Hong Kong: a record of change. In: Morton B. *Perspectives on marine environmental change in Hong Kong and Southern China, 1997-2001*. Hong Kong: Hong Kong University Press, 2003: 433-455.
- [14] Li K Z, Yin J Q, Huang L M, Tan Y H. Spatial and temporal variations of mesozooplankton in the Pearl River estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 67(4): 543-552.
- [15] Marcus N H, Fuller C M. Distribution and abundance of eggs of *Labidocera aestiva* (Copepoda: Calanoida) in the bottom sediments of Buzzards Bay, Massachusetts, USA. *Marine Biology*, 1989, 100(3): 319-326.
- [16] Lindley J A. Distribution of overwintering calanoid copepod eggs in sea-bed sediments around southern Britain. *Marine Biology*, 1990, 104(2): 209-217.
- [17] 崔高嵩, 刘雁春, 裴文斌. 天然含水量对海底沉积物贯入阻力的影响. *海洋测绘*, 2005, 25(6): 51-53.
- [18] Chau K W. Persistent organic pollution characterization of sediments in Pearl River estuary. *Chemosphere*, 2006, 64(9): 1545-1549.
- [19] 栾磊磊, 谷阳光, 王庆, 吴志辉, 杨宇峰. 珠江口桂山岛表层沉积物中重金属的分布特征及潜在生态危害评价. *生态科学*, 2013, 32(1):

14-21.

- [20] Jiang X D, Wang G Z, Li S J, He J F. Heavy metal exposure reduces hatching success of *Acartia pacifica* resting eggs in the sediment. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(6): 733-737.
- [21] Nielsen P, Mortensen J, Vismann B, Hansen B W. Physiological tolerance of marine calanoid copepod eggs to sulphide. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 328: 171-182.
- [22] Stasio B T D. Diapause in Calanoid Copepods: within-clutch hatching patterns. *Journal of Limnology*, 2004, 63(1): 26-31.
- [23] Hairston N G Jr, Van Brunt R A, Kearns C M, Engstrom D R. Age and survivorship of diapausing eggs in a sediment egg bank. *Ecology*, 1995, 76(6): 1706-1711.
- [24] Marcus N H. Calanoid copepod, cladoceran, and rotifer eggs in sea-bottom sediments of northern Californian coastal waters: identification, occurrence and hatching. *Marine Biology*, 1990, 105(3): 413-418.
- [25] Glippa O, Souissi S, Denis L, Lesourd S. Calanoid copepod resting egg abundance and hatching success in the sediment of the Seine estuary (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2011, 92(2): 255-262.
- [26] Wang G Z, Jiang X D, Li S J, Wang L S, Wu D X. A potential source of recruitment of *Acartia pacifica* nauplii: viable benthic resting eggs. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 24(2): 151-158.
- [27] Siokou-Frangou I, Zervoudaki S, Kambouroglou V, Belmonte G. Distribution of mesozooplankton resting eggs in seabottom sediments of Thermaikos gulf (NW Aegean Sea, Greece) and possible effects of sediment resuspension. *Continental Shelf Research*, 2005, 25(19): 2597-2608.