

舟山海域东方小藤壶的入侵与影响分析

刘 艳, 吴惠仙, 薛俊增*

(上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室,上海 201306)

摘要: 为防控舟山海域外来物种入侵、保护生态安全及生物资源,2010 年及 2012 年在舟山海域共设置 11 个潮间带采样点,开展外来物种调查。2010 年在舟山海域采集到小藤壶属的疑似外来种,形态分析显示该种壳口呈菱形,有突出关节脊,基底膜质,大颚有 4 齿,小颚缺刻清晰,触须方圆呈片状,据其形态特征鉴定为东方小藤壶。*CO I* 序列的分析结果显示,舟山海域所采集的小藤壶属疑似外来种与东方小藤壶的种群遗传距离为 0.994%,系统树分析结果显示该种与东方小藤壶聚为一支系,分支支持率为 100%。综合形态和分子 2 方面的证据,确定该疑似外来种为东方小藤壶,根据文献检索和此海域的历年调查结果分析其为舟山海域的外来物种。2010 年在 11 个样点中,仅有 6 个样点采集到东方小藤壶,密度在 $(6 \pm 2) \sim (28 \pm 11)$ 个/ m^2 ;2012 年,东方小藤壶在舟山海域 11 个样点中均有分布,且密度大幅增长,原有 6 个样点的密度为 $(55 \pm 8) \sim (39\ 533 \pm 6\ 243)$ 个/ m^2 ,新出现的 5 个样点的密度为 $(16 \pm 4) \sim (20\ 000 \pm 4\ 000)$ 个/ m^2 。结果显示,舟山海域东方小藤壶目前在新的栖息地中已成功定殖并扩散,成为舟山海域的外来入侵种。

关键词: 东方小藤壶;外来种;入侵;洋山深水港;舟山海域

中图分类号: Q 146; S 917.4

文献标志码: A

外来物种入侵已被列入国际生态研究重点,同时成为世界海洋生态环境面临的 3 大问题之一^[1-4]。在海洋生态系统中,海洋外来物种(non-indigenous marine species, NIMS)的入侵被视为威胁海洋生态系统功能以及多样性的 5 个因素之首,同时其对航运业的影响也日趋严重^[5-7]。随着世界贸易和经济全球化的发展,人类在海洋中的活动日益频繁,海洋外来物种的传播与入侵日趋严重。

藤壶是最常见的船舶附着污损生物,在 20 世纪已有多种藤壶被证明是通过附着在船体底部进入新的栖息地。同时 Cohen 等^[8]研究发现船舶经过远距离航行后,其压载水中有大量存活的藤壶幼体,压载水中浮游类幼体也是藤壶入侵的一条重要途径。20 世纪后期,已有报道多种藤壶作为外来种在新栖息地建群^[9]。21 世纪初始,美国学者以潮间带藤壶为主要入侵研究对象,开展了一系列生

态实验探究其入侵机理和入侵生态效应^[6,10-11]。

舟山海域位于长江口以南、杭州湾以东,东经 $121^{\circ}30' \sim 123^{\circ}25'$ 、北纬 $29^{\circ}32' \sim 31^{\circ}04'$ 。舟山海域蔓足类的研究始于 20 世纪 50 年代,1956 年董聿茂等^[12]首次对浙江舟山蔓足类生物进行调查,1978 年任先秋等^[13]发表了藤壶属的研究报告,1980 年董聿茂等^[14]总结了自 1955 年以来中国沿海潮间带蔓足类调查结果,1987 年朱振勤等^[15]就杭州湾北岸及嵊泗列岛沿岸固着蔓足类的分布进行了调查,20 世纪 90 年代至 21 世纪初有关学者对舟山海域岩相潮间带生物进行了系统调查^[16-27],以上调查研究较全面地报道了舟山海域潮间带蔓足类的生态分布状况,都没有发现在舟山海域有东方小藤壶(*Chthamalus challengeri* Hoek, 1883)分布。2010 年 5 月在洋山港港区发现零星分布的东方小藤壶^[28],洋山港是我国首个

收稿日期:2014-02-25 修回日期:2014-05-21

资助项目:国家海洋公益性行业科研专项(2013418027);上海市科委项目(11dz1205000);上海市教委重点学科建设项目(J50701)

通信作者:薛俊增, E-mail: jzxue@shou.edu.cn

在海岛建设的大型港口,通达世界 12 大航区,与近 200 个国家和地区的 500 多个港口建立了业务往来。洋山港作为海岛型港口,具有较高的盐度(最高达 23.10)^[29],为远洋船舶船底附着生物的生长和繁殖提供了有利条件,增加了海洋生物入侵风险,对舟山渔场的生物多样性和资源保护构成潜在威胁。港口发现东方小藤壶后,在舟山海域进行了系统调查,发现该物种在较短时间内已广泛分布。本研究应用形态学分类特征和线粒体 DNA 亲缘关系分析,确定舟山海域小藤壶为东方小藤壶,并对其生态分布现状进行了研究,以阐明东方小藤壶在舟山海域的入侵现状,为舟山海域外来物种的防控、生物多样性和渔业资源的保护提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究区域介于 121°30′~123°25′E,29°32′~31°04′的舟山海域范围内,年平均表层水温为 16.5℃,该海域受黄海冷水团、沿岸低盐水以及黑潮暖流影响,盐度有明显的季节变化,潮汐性质为正规半日潮。

1.2 样本采集及处理

舟山海域潮间带采样分别于 2010 年 10 月和 2012 年 10 月当地大潮期间进行,前后两年采样点保持一致,采样区域包括洋山深水港(S1)、大洋山(S2)、泗礁高长湾(S3)、泗礁小菜园(S4)、枸杞岛(S5)、嵎山(S6)、衢山(S7)、岱山(S8)、舟山本岛(S9)、朱家尖(S10)、六横岛(S11)共计 11 个采样点(图 1),此外在青岛和大连采集东方小藤壶样本。进行定性采集和定量采集,定量采集在每个采样点选取 5 个 0.25 m×0.25 m 的样方进行取样,拍照记录后,利用铁铲将取样框内的所有生物刮取干净。样品用 95% 无水乙醇进行保存,带回实验室鉴定。在 Leica S8 生物体式显微镜下进行外形、背板、楯板的观察,用解剖针解剖附肢,在 Leica DM500 微分干涉生物显微镜下进行观察与记录。东方小藤壶密度依照以下公式进行计算:

$$D = \frac{n}{Sa}$$

式中, D 表示东方小藤壶的密度(个/ m^2), n 为测量样方内东方小藤壶的个体数目(个), Sa 为测量样方的面积(m^2)。

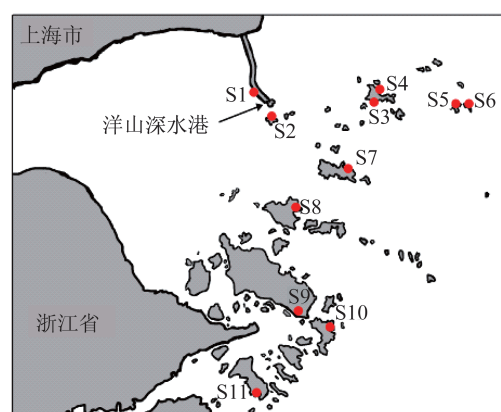


图 1 舟山海域东方小藤壶采样点示意图
Fig.1 Sampling sites for *C. challengerii* in Zhoushan archipelago

基因组 DNA 采用传统的酚-氯仿抽提法提取^[30]。引物 LCO I 1490:5′-GGTCAACAAATC-ATAAAGATATTGG-3′, HCO I 2198:5′-TAAACCTTCAGGGTGACCAAAA AATCA-3′扩增 *CO I* 基因^[31]。引物由生工生物工程(上海)有限公司合成。PCR 反应条件:94℃ 预变性 5 min;94℃ 1 min,49℃ 1 min,72℃ 1 min,共 30 个循环;72℃ 延伸 10 min。PCR 产物经 1% 琼脂糖凝胶电泳后由上海迈浦生物科技有限公司测序。

1.3 数据分析

测序结果用 Clustal X 1.83 软件进行编辑和校对,并在 NCBI 上分析对比确定测序对象的归属,利用 MEGA 5.0 软件计算序列的平均碱基组成,种群内、群体间的遗传距离,采用邻位连接法(Neighbour-Joining)构建系统发育树^[32],NJ 树以 Kimura 双参数法(Kimura-parameter)为替代模型,采用 MEGA 5.0 软件进行重建。利用 GraphPad Prism 5^[33] 生物密度分析及作图。

2 结果

2.1 形态特征

在舟山海域采集到的小藤壶壳灰白或浅褐色,个体为圆锥形,集群分布,表面光滑或具不规则肋状突起,板缝清晰(图版-1,2)。藤壶壳口呈菱形,壳板 6 片,基部无轮生副板,楯板三角形,开缘与闭缘内面有显著隆起,有突出的关节脊(图版-3)。大颚处有 4 个齿,边缘第 4 齿下有许多细小的栉齿,末端有 1~3 个较大的小齿和中等齿(图版-4)。小颚缺刻较清晰,上部有 2 个大刺和

6~8 根较小刺,缺刻下方有 6~8 根中型刺,下角为较小刺丛(图版-5)。触须方形呈片状(图版-6)。根据形态特征,经分类检索,确定该小藤壶为东方小藤壶。

2.2 亲缘关系分析

通过 NCBI 检索选取小藤壶属中 5 个种群的 *CO I* 基因序列各 5 条,分别为 *C. anisopoma* (CA)、*C. bisinuatus* (CB)、*C. dentatus* (CD)、*C. malayensis* (CM) 以及 *C. challengeri* (CC),结合大连、青岛以及舟山海域采集的东方小藤壶 *CO I* 测序序列,计算种群内以及群体间的遗传距离,分析表明,上述 5 个种群内的 K-2-P 遗传距离介于 0.145%~0.998%,其中马来小藤壶(*C. malayensis*)种群内遗传距离最大,为 0.998%,*C. anisopoma* 种群内遗传距离最小,仅为 0.145%,采自中国黄海和舟山海域的东方小藤壶(*C. challengeri*)与 NCBI 库中的东方小藤壶种群内遗传距离为 0.994%。种群间遗传距离则介于 17.117%~20.774%(表 1)。

表 1 小藤壶属 5 个种群内、群体间的 K-2-P 遗传距离
Tab.1 The average K-2-P distance between and within five groups of *Chthamalus* populations

	CA	CB	CD	CM	CC	种群内 within population
CA	-					0.001 45
CB	0.207 74	-				0.009 16
CD	0.188 35	0.199 65	-			0.007 67
CM	0.188 17	0.179 85	0.178 04	-		0.009 98
CC	0.188 54	0.183 64	0.171 17	0.191 22	-	0.009 94

同时利用以上序列构建邻接树,邻接树可分为 5 大支系(lineage),分别为小藤壶属的 5 个种群,相应分支的支持值均超过 95%。*CO I* 邻接树显示舟山海域采集的小藤壶与日本海域的东方小藤壶聚为一支(图 2),与其他种形成相互独立的单系,显示舟山海域小藤壶为东方小藤壶,同样小藤壶属其余各种的不同种群也分别聚为一支,表明利用 *CO I* 进行小藤壶种群间进化分离的证据是可信的。

2.3 生态分布

分别于 2010 年、2012 年在舟山海域进行调查,2010 年仅在洋山深水港(S1)、泗礁县高长湾沙滩(S3)、枸杞岛(S5)、衢山(S7)、岱山(S8)以及朱家尖(S10)采集到东方小藤壶(图 3-a),密度

在 $(6 \pm 2) \sim (28 \pm 11)$ 个/ m^2 (图 4),其中枸杞岛(S5)和岱山(S8)采集到的东方小藤壶密度最高,

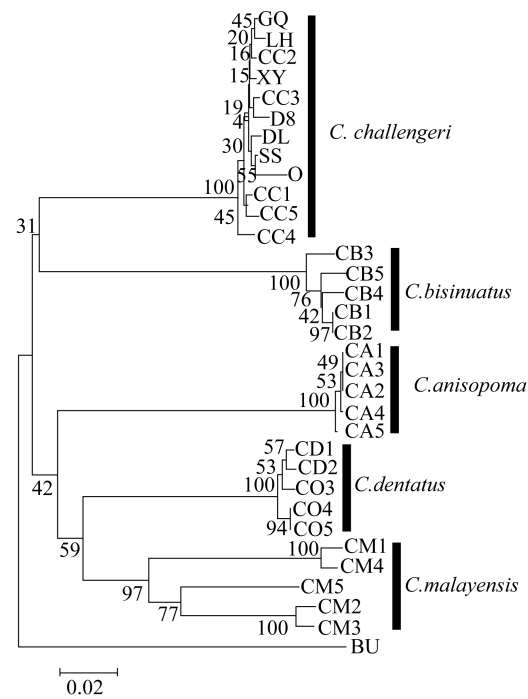


图 2 小藤壶属中不同种构建的 *CO I* 基因邻接树

图中 CC1-CC5 为日本海域东方小藤壶种群 *CO I* 序列(登录号:HM136269.1~HM136273.1); DL、QD 为大连和青岛的东方小藤壶 *CO I* 序列; SS、DS、XY、GQ、LH 分别为舟山海域泗礁、岱山、洋山深水港、枸杞岛、六横岛的东方小藤壶 *CO I* 序列; CB1-CB5 为 NCBI 中上传 *C. bisinuatus* 的 *CO I* 序列(登录号:FJ845846.1~FJ845850.1); CA1-CA5 为 NCBI 上传的 *C. anisopoma* 的 *CO I* 序列(登录号:DQ538487.1~DQ538491.1); CD1-CD2 为 NCBI 上传 *C. dalli* 的 *CO I* 序列(登录号:AY795476.1~AY795480.1); CM1-CM2 为 CNBI 上传 *C. malayensis* 的 *CO I* 序列(登录号:JQ755173.1~JQ755177.1),EU 为外群种 *Eurahia eastropacensis* *CO I* 序列(登录号:FJ845851.1)

Fig.2 The Neighbor-Joining tree of *CO I* sequence for the different species of *Chthamalus*

CC1-CC5: *CO I* sequences for *C. challengeri* in Japan Sea Area searched from NCBI(GenBank;HM136269.1 - HM136273.1); DL, QD: *CO I* sequences for *C. challengeri* in Dalian and Qindao; SS, DS, XY, GQ, LH: *CO I* sequences for *C. challengeri* in the Sijiao, Daishan, Yangshan Deep Water Port, Gouqi and Liuheng Island in Zhoushan Sea Area; CB1-CB5: *CO I* sequences for *C. bisinuatus* searched from NCBI(GenBank; FJ845846.1 - FJ845850.1); CA1-CA5: *CO I* sequences for *C. anisopoma* searched from NCBI(GenBank; DQ538487.1 - DQ538491.1); CD1-CD5: *CO I* sequences for *C. dentatus* searched from NCBI(GenBank; AY795476.1 - AY795480.1); CM1-CM5: *CO I* sequences for *C. malayensis* searched from NCBI(GenBank; JQ755173.1 - JQ755177.1); EU: *CO I* sequence for *Eurahia eastropacensis*(GeneBank;FJ845851.1)

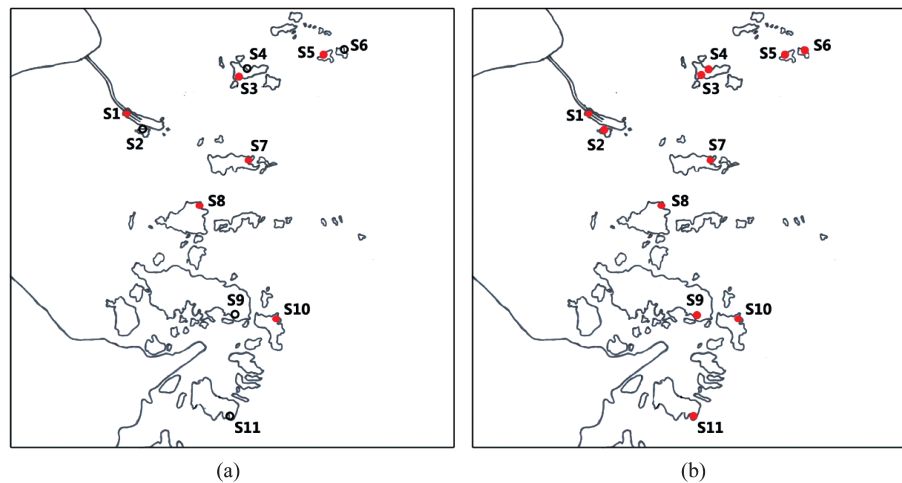


图3 2010年、2012年东方小藤壶在舟山海域分布情况

(a) 2010年分布情况; (b) 2012年分布情况; 图中红色圆点表示采集到东方小藤壶的样点, 空心黑色圆圈表示未采集到东方小藤壶的样点

Fig. 3 The distribution for *C. challengeri* in 2010 and 2012 in Zhoushan ocean area

(a) Distribution in 2010; (b) Distribution in 2012; red spots are sampling sites which have collected *C. challengeri*, black hollow spots are sampling sites which have not collected *C. challengeri*

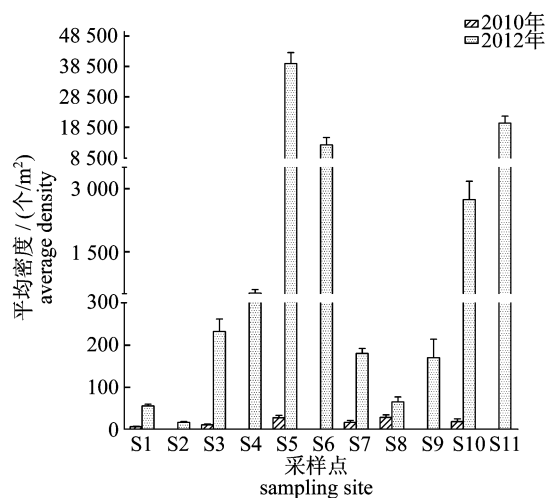


图4 2010年及2012年舟山海域

各采样点东方小藤壶密度

S1. 洋山深水港; S2. 大洋山; S3. 泗礁高长湾; S4. 泗礁小菜园; S5. 枸杞岛; S6. 嵎山; S7. 衢山; S8. 岱山; S9. 舟山本岛; S10. 朱家尖; S11. 六横岛

Fig. 4 The density of *C. challengeri* from 2010 to 2012 in Zhoushan sea area

S1. Yangshan deep-water Port; S2. Dayangshan; S3. Gaochangwan in Sijiao; S4. Xiaocaiyuan in Sijiao; S5. Gouqi island; S6. Shengshan; S7. Qushan; S8. Daishan; S9. Zhoushan island; S10. Zhujiajian; S11. Liuheng island

均达到 (28 ± 11) 个/ m^2 , 其余样点东方小藤壶密度在 $(11 \pm 3) \sim (18 \pm 12)$ 个/ m^2 不等。至2012年, 东

方小藤壶在舟山海域各采样点均有分布, 除了在2010年采集到东方小藤壶的样点外, 舟山海域的大洋山岛(S2)、泗礁小菜园(S4)、嵎山(S6)、舟山本岛(S9)以及最南端的六横岛(S11)均第1次采集到东方小藤壶标本, 其表现出较强的扩散趋势(图3-b), 且密度上升明显。其中枸杞岛(S5)岩礁处的东方小藤壶密度最高, 达到 $(39\,533 \pm 6\,243)$ 个/ m^2 (图4), 东方小藤壶已成为枸杞岛高潮区优势种; 舟山海域最南端的六横岛(S11)东方小藤壶密度次之, 为 $(20\,000 \pm 751)$ 个/ m^2 ; 除洋山深水港和大洋山岛之外, 其余各岛东方小藤壶密度均高于100个/ m^2 , 在采样观察2年时间内其密度从无到有、从低到高迅速增长10余倍。

3 讨论

3.1 东方小藤壶的自然分布及其入侵现状

东方小藤壶主要分布在黄海、渤海、韩国及日本岛沿海高潮带。在中国海洋岛、旅大、金州、山海关、秦皇岛、北戴河、小钦岛、莱州、烟台、崆峒岛、威海刘公岛、荣城、龙须岛、石岛、青岛、大公岛、朝连岛有分布^[34]。韩国釜山沿海以及日本北海道^[35]、本州岛近太平洋海岸^[36]以及九州岛^[37]均报道有东方小藤壶分布。在《中国动物志 无脊椎动物 甲壳动物亚门 蔓足下纲》^[34]中明确指出“该物种是我国北方黄海、渤海沿岸主要固着藤壶种类之一,

但在长江口以南海域尚未发现有该种”。并且在《中国海洋物种多样性》^[38]中也提到东方小藤壶分布仅于我国渤海、黄海北部的高潮区。

蔡如星等^[39]整理归纳了 20 世纪 50 年代至 90 年代初浙江海域生物调查结果,在舟山海域岩相基质潮间带蔓足类的种类组成包括三角藤壶 (*Balanus trigonus*)、泥藤壶 (*B. uliginosus*)、糊斑藤壶 (*B. cirratus*)、红巨藤壶 (*Megabalanus rosa*)、刺巨藤壶 (*M. volcano*) 高峰星藤壶 (*Chirona amarllis*)、日本笠藤壶 (*Tetraclita japonica*)、鳞笠藤壶 (*T. squamosa squamosa*)、白脊藤壶 (*B. albicostatus*)、网纹藤壶 (*B. reticulatus*),至 21 世纪初舟山海域岩相潮间带生物的种类组成基本与之前调查结果一致^[16-27]。在此期间的各类调查中,未见有东方小藤壶分布的报道。

东方小藤壶是我国北方沿海最常见具代表性的蔓足类^[14]。2010 年 5 月,薛俊增等^[28]在位于长江口以南的洋山深水港码头首次采集到东方小藤壶标本,当时只采集到 3 只。通过对采集标本的形态特征分析,其壳板数量、背板和楯板形态以及附肢形态等特征均符合《中国动物志》中对东方小藤壶分类特征的描述^[34],从形态分类上基本确定其分类地位。Hebert 等^[40]经过对 13 320 个动物物种的分析认为,物种内 CO I 序列的遗传距离一般小于 1%,很少有大于 2% 的,并提出利用 CO I 序列进行物种鉴别的主要依据是种间遗传距离大于种内遗传距离,且差异达到 10 倍以上。结合分子生物学分类方法,本研究分子生物学的结果表明,小藤壶属 5 个物种种群内遗传距离均小于 1%,而种群间的遗传距离均大于 17%,为 5 个有效分类物种。其中东方小藤壶种群内遗传距离为 0.994%,表明种群内分析的舟山群岛样本与同分析种群内由 NCBI 下载的日本海域东方小藤壶 CO I 序列个体为同一物种水平,为舟山海域东方小藤壶的分类提供了进一步佐证。通过查阅历史资料,同时结合生态调查,可以初步推断东方小藤壶约于 2007 年—2010 年进入长江口以南的新栖息地。

比较 2010 年与 2012 年东方小藤壶的密度变化,显示东方小藤壶非常适应舟山海域环境,在较短的时间内实现定殖,种群快速扩张并增长,成为舟山海域的入侵种。有关东方小藤壶性腺发育的研究显示东方小藤壶作为高潮区优势种对环境的

适应性与耐受性相对较强^[41],为东方小藤壶在新栖息地中生存、适应和繁殖创造了有利的条件。

3.2 东方小藤壶入侵对环境与资源的影响

东方小藤壶在原栖息地的附着期一般在 7 月—9 月^[35],而本实验观察发现舟山海域东方小藤壶的附着周期为 2 月—11 月,较长的附着周期为东方小藤壶在舟山海域高潮区的种群扩张和扩散提供有利条件。陈国进等^[42]研究发现,舟山海域高潮区优势种笠藤壶的繁殖具有明显的季节性,鳞笠藤壶的附着期为 7 月上旬—8 月下旬,日本笠藤壶的附着期为 7 月中旬—9 月下旬。东方小藤壶与本地种笠藤壶生态位重叠,在舟山海域其每年附着时间早于本地种笠藤壶,且附着周期较本地种笠藤壶更长,这为其有效占据高潮区生态位提供了有利条件,得益于东方小藤壶高效的繁殖速率^[35],该种有条件快速成长为高潮区优势种。实验结果证明,2012 年在枸杞岛、嵎山和六横岛采样点东方小藤壶已成为高潮区绝对优势种,本地种笠藤壶在同生态位已难觅踪迹,东方小藤壶的入侵已开始改变舟山海域高潮区生物群落结构与生物多样性格局。

20 世纪中叶随着航运业的发展,各沿海港区出现大量海洋外来物种,诸如来自澳大利亚的红藻刺海门冬 (*Asparagopsis armata*) 以及藤壶 (*Austrominius modestus*) 等污损生物抵达新的栖息地后通过浮游幼体进行传播与扩散,对当地潮间带生物多样性及渔业资源造成了严重影响^[43]。研究表明海洋渔业产量与浮游动物多样性有着密切关系^[44],近 2 年内东方小藤壶在舟山海域高潮区大量附着的同时,数量更为庞大的浮游幼体对该海域浮游生物多样性也产生一定影响,进而可能对舟山海域的生物资源造成影响。虽然东方小藤壶的入侵暂时未见显著的经济损失,但其快速生长目前已造成原生态位土著种密度的降低甚至消失,并在一定范围内开始改变舟山海域潮间带生物群落结构及多样性,其入侵风险有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Baltz D M. Introduced fishes in marine systems and inland seas [J]. *Biological Conservation*, 1991, 56 (2): 151 - 177.
- [2] Vitousek P M, D'antonio C M, Loope L L, et al. Biological invasions as global environmental change [J]. *American Scientist*, 1996, 84 (5): 468 - 478.

- [3] Pimentel D, Lach L, Zuniga R, *et al.* Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States [J]. *BioScience*, 2000, 50 (1) : 53 - 65.
- [4] Nentwig W. *Biological Invasions* [M]. Berlin: Springer, 2007: 10 - 13.
- [5] Lubchenco J, Olson A M, Brubaker L B, *et al.* The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda: a report from the ecological society of America [J]. *Ecology*, 1991, 72 (2) : 371 - 412.
- [6] Carlton J. *Invasive species: vectors and management strategies* [M]. Washington D. C. : Island Press, 2003: 4 - 8.
- [7] Hewitt C L, Campbell M L. Mechanisms for the prevention of marine bioinvasions for better biosecurity [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 55 (7) : 395 - 401.
- [8] Cohen A N, Carlton J T. Accelerating invasion rate in a highly invaded estuary [J]. *Science*, 1998, 279 (5350) : 555 - 558.
- [9] Ruiz G M, Carlton J T, Grosholz E D, *et al.* Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent, and consequences [J]. *American Zoologist*, 1997, 37 (6) : 621 - 632.
- [10] Bax N, Williamson A, Aguero M, *et al.* Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity [J]. *Marine Policy*, 2003, 27 (4) : 313 - 323.
- [11] Apte S, Holland B S, Godwin L S, *et al.* Jumping ship: a stepping stone event mediating transfer of a non-indigenous species via a potentially unsuitable environment [J]. *Biological Invasions*, 2000, 2 (1) : 75 - 79.
- [12] Dong Y M, Mao J R. Preliminary report of Cirripedia in Zhoushan of Zhejiang Province [J]. *Journal of Zhejiang Normal University*, 1956, 2: 283 - 296. [董聿茂, 毛节荣. 浙江舟山蔓足类的初步报告. 浙江师范学院学报, 1956, 2: 283 - 296.]
- [13] Ren X Q, Liu R Y. Cirripedia in coastal waters of China I, Balanus [J]. *Studia Marina Sinica*, 1978, 13: 119 - 196. [任先秋, 刘瑞玉. 中国近海的蔓足类 I, 藤壶属. 海洋科学集刊, 1978, 13: 119 - 196.]
- [14] Dong Y M, Chen Y S, Cai R X. Preliminary study on the Chinese cirripedian fauna (Crustacea) [J]. *Acta Oceanologica Sinica: Chinese version*, 1980, 2 (2) : 124 - 131. [董聿茂, 陈永寿, 蔡如星. 中国近海蔓足类区系特点的初步研究 (甲壳纲) [J]. 海洋学报: 中文版, 1980, 2 (2) : 124 - 131.]
- [15] Zhu Z Q, Du N S, Lai W. On the ecological distribution of rocky shore sedentary cirripeds at the northern coast of Hangzhou Bay and Shensi Islands [J]. *Donghai Marine Science*, 1987, 5 (4) : 47 - 53. [朱振勤, 堵南山, 赖伟. 杭州湾北岸及嵊泗列岛一带岩岸固着蔓足类的生态分布. 东海海洋, 1987, 5 (4) : 47 - 53.]
- [16] Yang W X, Chen Y S. Studies on species constitution of benthic biology and fauna and flora characteristics in rocky intertidal zone along Shengsi archipelago [J]. *Journal of Hebei Normal University: Natural Science*, 1996, 20 (4) : 82 - 85. [杨万喜, 陈永寿. 嵊泗列岛岩相潮间带底栖生物种类组成及区系特点. 河北师范大学学报: 自然科学版, 1996, 20 (4) : 82 - 85.]
- [17] You Z J, Hong J C, Wang Y N, *et al.* Distribution pattern of species on the intertidal rocky shore of the Shenshan island, Zhejiang [J]. *Journal of Ningbo University: Natural Science and Engineering Edition*, 1997, 10 (1) : 64 - 71. [尤仲杰, 洪君超, 王一农, 等. 舟山嵊山岛岩相潮间带生物分布特征. 宁波大学学报: 理工版, 1997, 10 (1) : 64 - 71.]
- [18] Yang W X, Chen Y S. Community ecology of intertidal zone of Shengsi archipelago II. Community structure of benthic invertebrates in rocky intertidal zone [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9 (1) : 75 - 78. [杨万喜, 陈永寿. 嵊泗列岛潮间带群落生态学研究 II. 岩相潮间带底栖动物的群落结构. 应用生态学报, 1998, 9 (1) : 75 - 78.]
- [19] Yang W X, Chen Y S. Community ecology of intertidal zone of Shengsi islands III. Species distribution of benthos in rocky intertidal zone [J]. *Donghai Marine Science*, 1999, 17 (1) : 61 - 66. [杨万喜, 陈永寿. 嵊泗列岛潮间带群落生态学研究 III. 岩相潮间带底栖生物的种类分布. 东海海洋, 1999, 17 (1) : 61 - 66.]
- [20] Shao X Y, You Z J, Cai R X, *et al.* Studies on ecology of intertidal zone around Zhejiang Province islands I. species composition and distribution [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 1999, 18 (2) : 112 - 119, 132. [邵晓阳, 尤仲杰, 蔡如星, 等. 浙江省海岛潮间带生态学研究 I. 生物种类组成与分布. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 1999, 18 (2) : 112 - 119, 132.]
- [21] Shao X Y, You Z J, Cai R X, *et al.* Studies on ecology of intertidal zone around of Zhejiang Province II. Quantities and distribution [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 20 (4) : 279 - 286. [邵晓阳, 尤仲杰, 蔡如星, 等. 浙江省海

- 岛潮间带生态学研究 II. 数量组成与分布. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2001, 20(4): 279 - 286.]
- [22] Zeng D G, Cai R X, Huang Z G, *et al.* Studies on marine fouling communities in the East China Sea I. composition and distribution of species. *Donghai Marine Science*, 1999, 17(1): 49 - 51. [曾地刚, 蔡如星, 黄宗国, 等. 东海污损生物群落研究 I. 种类组成和分布[J]. 东海海洋, 1999, 17(1): 49 - 51.]
- [23] Zeng D G, Cai R X, Huang Z G, *et al.* Studies on marine fouling communities in the East Sea II. Biomass distribution [J]. *Donghai Marine Science*, 1999, 17(1): 57 - 60. [曾地刚, 蔡如星, 黄宗国, 等. 东海污损生物群落研究 II. 数量组成和分布. 东海海洋, 1999, 17(1): 57 - 60.]
- [24] Zeng D G, Cai R X, Huang Z G, *et al.* Studies on marine fouling communities in the East China Sea III. community Structure [J]. *Donghai Marine Science*, 1999, 17(4): 47 - 50. [曾地刚, 蔡如星, 黄宗国, 等. 东海污损生物群落研究 III. 群落结构. 东海海洋, 1999, 17(4): 47 - 50.]
- [25] Zhu S X, Yang H L, Wang P, *et al.* Studies on intertidal zone ecology of Zhoushan archipelago during the summer, 2005 [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2006, 25(4): 359 - 372. [朱四喜, 杨红丽, 王镛, 等. 2005 年夏季舟山群岛潮间带的生态学研究. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2006, 25(4): 359 - 372.]
- [26] Liao Y B, Zeng J N, Chen Q Z, *et al.* Macrobenthos community patterns in the intertidal zone of the Shengsi archipelago in spring and autumn [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(6): 1000 - 1010. [廖一波, 曾江宁, 陈全震, 等. 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, 2007, 53(6): 1000 - 1010.]
- [27] Fu J P. The ecological study on macrobenthos in the rocky zone of islands in Zhejiang [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010: 16 - 40. [付俊平. 浙江海岛岩礁区大型底栖生物生态学研究. 青岛: 中国海洋大学, 2010: 16 - 40.]
- [28] Xue J Z, Wang B Q, Zhuang H, *et al.* Community structure and diversity of fouling organisms in Yangshan Port [J]. *Science and Technology Review*, 2011, 29(3): 66 - 70. [薛俊增, 王宝强, 庄骅, 等. 洋山港码头污损生物的群落结构和多样性研究. 科技导报, 2011, 29(3): 66 - 70.]
- [29] Wang B Q, Tian H, Xue J Z, *et al.* Annual variation of water environment at the sea area of Yangshan deep-water port [J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 2011, 30(2): 60 - 64. [王宝强, 田华, 薛俊增, 等. 洋山深水港海域水环境的周年变化. 上海环境科学, 2011, 30(2): 60 - 64.]
- [30] Sambrook J. Molecular cloning [M]. Huang P T, translate. Beijing: Science Press, 2005: 52 - 86. [萨姆布鲁克. 分子克隆实验指南. 黄培堂, 译. 北京: 科学出版社, 2005: 52 - 86.]
- [31] Folmer O, Black M, Hoek W, *et al.* DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome C oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates [J]. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 1994, 3(5): 294 - 299.
- [32] Tamura K, Peterson D, Peterson N, *et al.* Mega5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2011, 28(10): 2731 - 2739.
- [33] Motulsky H. Prism 5 statistics guide, 2007 [J]. GraphPad Software, 2007: 1 - 26.
- [34] Liu R Y, Ren X Q. Funa Sinica, Invertebrate, Vol. 42, Crustacea, Cirripedia, Thoracica [M]. Beijing: Science Press, 2007: 126 - 140. [刘瑞玉, 任先秋. 中国动物志 无脊椎动物 第四十二卷 甲壳动物门 蔓足下纲 围胸总目. 北京: 科学出版社, 2007: 126 - 140.]
- [35] Iwaki T. Breeding and settlement of *Chthamalus challengerii* Hoek on the southern coast of Hokkaido [J]. *Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 1975, 1(26): 1 - 10.
- [36] Chan B K K. Ecology and biodiversity of rocky intertidal barnacles along a latitudinal gradient; Japan, Taiwan and Hong Kong [C]. Kobe: The NaGISA World Congress, 2006.
- [37] Apolinário M. Temporal variations in community structure in and around intertidal barnacle (*Chthamalus Challengerii* Hoek) patches on a plebby shore in Japan [J]. *Revista Brasileira de Biologia*, 1999, 59(1): 43 - 53.
- [38] Huang Z G, Lin M. Marine species diversity in China [M]. Beijing: Ocean Press, 2012: 62 - 94. [黄宗国, 林茂. 中国海洋物种多样性. 北京: 海洋出版社, 2012: 62 - 94.]
- [39] Cai R X. Survey report of marine biological resources in islands of Zhejiang Province [M]. Hangzhou, Zhejiang Aquatic Bureau, 1993: 72 - 106. [蔡如星. 浙江省海岛海洋生物资源调查报告. 杭州: 浙江省水产局, 1993: 72 - 106.]

- [40] Hebert P D, Ratnasingham S, De Waard J R. Barcoding animal life: cytochrome C oxidase subunit I divergences among closely related species [J]. Proceedings of the Royal Society of London. Series B; Biological Sciences, 2003, 270 (Suppl 1): S96 – S99.
- [41] Luckens P A. The breeding and settlement of *Chthamalus Challengeri* Hoek at asamushi during 1967 [J]. The Bulletin of Marine Biology Station of Asamushi, 1968, 1: 13 – 21.
- [42] Chen G J, Dong Y M, Cai R X. Biological study of *Tetraclita japonica* and *T. squamosa squamasa* in Zhejiang sea area I. breed, settlement and growth [J]. Acta Oceanologica Sinica: Chinese version, 1987, 9(1): 93 – 103. [陈国进, 董聿茂, 蔡如星. 舟山海区日本笠藤壶和鳞笠藤壶的生物学研究 I. 繁殖、附着与生长. 海洋学报: 中文版, 1987, 9(1): 93 – 103.]
- [43] Bishop M W. Establishment of an immigrant barnacle in British coastal waters [J]. Nature, 1947, 159 (501): 427 – 444.
- [44] Hastings A, Botsford L W. Comparing designs of marine reserves for fisheries and for biodiversity [J]. Ecological Applications, 2003, 13 (sp1): 65 – 70.

The invasion and its impact for the spread of *Chthamalus challengerii* in Zhoushan sea area

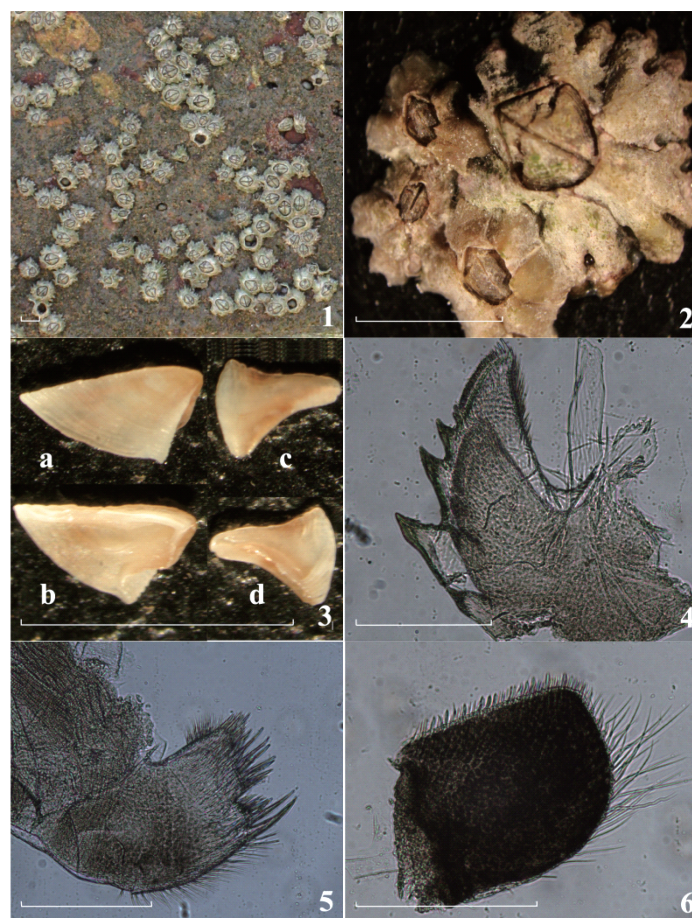
LIU Yan, WU Huixian, XUE Junzeng*

(Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

Abstract: To prevent and control the invasion of non-indigenous species, meanwhile, to protect ecological security and biological resources in Zhoushan sea area, we set up 11 sampling sites to investigate the biodiversity of intertidal organisms in 2010 and 2012, respectively. The study collected a species of barnacle in Yangshan deep water port for the first time in 2010. This species has a rhombic aperture, prominent joint ridge and membranous basis. We could accurately identify the species as *Chthamalus challengerii* by its four teeth of mandible, legible incision of maxillule and quadrate sheet cirrus. The genetic distances and population genetic structure of *C. challengerii* were investigated using mitochondrial cytochrome C oxidase subunit I (CO I) gene sequences. The population genetic distance of samples collected from Zhoushan sea area and CO I sequences downloaded from NCBI is 0.994%, which shows a great possibility for the new species from Zhoushan sea area to be the species of *C. challengerii*. The result of Neighbor-Joining tree showed the same verdict with population genetic distance result, which provides corroborative evidence for the identification of the new species from Zhoushan sea area. The results of ecology survey showed that *C. challengerii* were collected in minority area of Zhoushan from Yangshan deep water port, Shengsi, Qushan, Daishan and Zhujiajian, and the density of it ranged from (6 ± 2) to (28 ± 11) ind./m². In 2012, we could collect it from all the sampling sites of Zhoushan archipelago, the densities for the 6 sampling sites which had collected *C. challengerii* in 2010 ranged from (55 ± 8) to $(39\ 533 \pm 6\ 243)$ ind./m² in 2012. The densities of other 5 sampling sites ranged from (16 ± 4) to $(20\ 000 \pm 4\ 000)$ ind./m². This study elaborates the research status of *C. challengerii* as a non-indigenous species in Zhoushan sea area from various angles of its biological characteristics, population historic distribution area, introduced geschichte and spread status.

Key words: *Chthamalus challengerii*; non-indigenous species; invade; Yangshan deep water port; Zhoushan sea area

Corresponding author: XUE Junzeng. E-mail: jzxue@shou.edu.cn



图版 东方小藤壶形态特征

1. 自然分布群体; 2. 外形; 3. 背板、楯板外形(a: 楯板外部观; b: 楯板内部观; c: 背板外部观; d: 背板内部观); 4. 大颚; 5. 小颚; 6. 触须; 1,2,3 标尺表示 5 mm,4,5,6 标尺表示 200 μm)

Plate The morphological characteristics for *C. challengeri*

1. population; 2. individual; 3. terga and scuta(a: scuta external; b: scuta internal; c: terga external; d: terga internal); 4. mandible; 5. maxillule; 6. cirrus; 1,2,3 scale bar 5 mm; 4,5,6 scale bar 200 μm)