

盐度对不同卤虫品系存活和生殖性能的影响

隋丽英, 王 婧, 贺 华, 邓元告

(天津科技大学 海洋科学与工程学院, 天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津 300457)

摘要: 作者采用中国渤海湾盐田固有的渤海湾孤雌生殖卤虫(*Bohai Bay Artemia parthenogenetica*, BHB)和分别源自美国旧金山湾盐田(SFB)与越南 Vinh Chau 人工养殖(VSFB)的两性生殖卤虫(*A. franciscana*), 研究盐度(分别为 70, 125 和 180)对上述品系卤虫存活和生殖力的影响。结果表明, 在实验盐度范围内, 所有品系卤虫存活率随盐度升高而显著降低, 但与 BHB 卤虫相比, SFB 和 VSFB 卤虫对高盐度的耐受力较强。盐度显著影响 BHB 卤虫性成熟时间和产后代间隔时间, 并随盐度的升高而延长, 但对 SFB 和 VSFB 卤虫没有显著影响。所有品系卤虫每窝产幼体或产卵数量均随盐度升高而有降低的趋势。较低盐度(70)下, BHB 卤虫以产幼体占绝对优势, VSFB 产幼体较多, SFB 产卵较多; 而在较高盐度(125 和 180)下, VSFB 以产幼体占绝对优势, SFB 和 BHB 也以产幼体居多。总之, 与 SFB 和 BHB 相比, VSFB 在高盐环境下存活率较高, 且以产幼体占绝对优势, 表明 VSFB 卤虫更适应于高盐盐田环境, 有利于该品系卤虫在盐场建立优势种群。

关键词: 卤虫(*Artemia parthenogenetica*, BHB); 孤雌生殖; 两性生殖; 盐度; 存活; 生殖力

中图分类号: S932 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2013)11-0041-07

卤虫(*Artemia*)作为广泛分布于内陆盐湖和日晒盐场中级和高级蒸发池中的小型甲壳动物是中高盐度盐田生态系统中的主要消费者和生态调节者。它通过滤食单胞藻降低水体中的氮磷水平, 其残体又为结晶区红色嗜盐细菌生长提供必要的食物。盐田中的卤虫和嗜盐细菌可降低卤水粘度、增加水色、提高蒸发量, 从而提高盐的产量和质量^[1]。此外, 卤虫还是水产苗种极佳的鲜活饵料^[2]。

按照生殖方式, 卤虫分为两性生殖种和孤雌生殖种两类。卤虫在中国主要分布于辽宁、河北、天津和山东沿海的日晒盐场以及新疆、西藏、青海、内蒙古和山西的内陆盐湖中。沿海盐田以及新疆、青海盐湖以孤雌生殖种群(*Artemia parthenogenetic*)为主^[3], 两性种主要分布于山西、河北和内蒙的盐湖(如中国卤虫(*A. sinica*))^[4]以及西藏盐湖(西藏卤虫(*A. tibetiana*))^[5]。20 世纪 90 年代以前, 中国渤海湾盐田的卤虫为孤雌生殖种群。随后由于沿海虾蟹水产育苗的迅猛发展, 大量使用外来品系商品卤虫卵, 加之美国旧金山湾两性生殖品系(*A. franciscana*)在个别盐场的引种^[6-7], 使当今渤海湾卤虫成为孤雌和两性生殖品系(主要为 *A. franciscana* 和 *A. sinica*)的混杂种群^[8]。

近几年来, 由于卤虫过度捕捞, 盐田养虾和低

度卤水吹溴工艺的大量采用, 造成卤水酸化、卤虫产量锐减, 盐田生态环境遭到破坏。卤虫引种是恢复盐田生态环境的重要手段^[1], 特别是高品质卤虫卵的引种和繁殖, 不仅有助于改善盐田卤水生态系统, 而且可以提升该区域盐田卤虫卵的品质。两性生殖卤虫 *A. franciscana* Kellog(1906)源于美国和加勒比地区, 该品系卤虫卵具有卵径小、孵化率高和容易去休眠等特点, 市场需求量大。但近年来美国旧金山湾卤虫卵产地已划为美国自然湿地生态保护区, 禁止商业捕捞行为, 没有商品卵生产。20 世纪 80 年代中期开始, 越南南部 Vinh Chau 地区通过人工养殖卤虫生产 *A. franciscana* 卤虫卵^[9], 经过 20 多年的适应性培养和驯化, 越南产 *A. franciscana* 卤虫卵已形成卵径更小(平均卵径 225 μm)和更加适合较高温度环境的特性^[10], 成为卤虫引种的首选品系。由于遗传和环境差异, 孤雌和两性生殖卤虫对温度和盐度适应能力不同, 一般说来两性生殖卤虫在极端的温度和盐度条件下具有竞争优势^[11-15]。但低盐(70~80)环境

收稿日期: 2012-06-03; 修回日期: 2012-08-23

基金项目: 科技部国际科技合作计划项目(2010DFA32300); 天津市科委应用基础与前沿技术研究计划重点项目(13JCZDJC28700)

作者简介: 隋丽英(1966-), 女, 天津人, 博士, 教授, 主要从事虫生物学和甲壳动物营养繁殖学研究, E-mail:suily@hotmail.com

条件下产出的越南 *A. franciscana* 卤虫对中国渤海湾盐田逐级升高的盐度的适应能力, 以及与渤海湾孤雌生殖和美国旧金山湾 *A. franciscana* 卤虫的竞争情况尚未见报道。作者研究上述不同品系卤虫在不同盐度条件下的生存和生殖特性, 为越南产 *A. franciscana* 卤虫在中国渤海湾的引种和繁殖提供基础数据。

1 材料与方 法

1.1 材料和分 组

本研究材料为中国渤海湾孤雌生殖卤虫 (*A. parthenogenetica*, BHB), 美国旧金山湾两性生殖卤虫 (*A. franciscana*, SFB) 以及越南南部 Vinh Chau 地区人工养殖的 *A. franciscana* 卤虫 (VSFB)。实验盐度选择渤海湾盐田中卤虫种群占优势的最低、最高盐度及其中间值 (分别为 70, 125 和 180), 不同盐度卤水由浓缩卤水 (盐度 220) 稀释而成 (盐度测量采用 Atago S28M 盐度计)。浓缩卤水取自天津汉沽盐场, 经消毒沉淀后备用。按照正交设计设置 9 个实验组, 即 3 个卤虫品系 (BHB, SFB 和 VSFB) × 3 个盐度 (70, 125 和 180)。每个实验组设置 3 个平行样。

1.2 研究方 法

1.2.1 卤虫卵孵化和卤虫培养条件

实验从初孵卤虫无节幼体开始。卤虫卵孵化条件为: 盐度 35, 温度 28℃, 光照强度 1 000 Lx, 连续充气。根据卤虫卵的孵化速率不同, SFB 和 VSFB 卤虫卵孵化 20 h, BHB 卤虫卵孵化 30 h。孵化结束时, 分离去除未孵化的卤虫卵和空壳, 用 200 目尼龙筛绢收集初孵无节幼体。将 75 只活力强的无节幼体小心转入盛有 200 mL 卤水 (盐度 35) 的锥形玻璃管中。由于无节幼体是卤虫发育过程中抗逆性最强的阶段^[16], 因此本实验盐度驯化在 12 h 内完成, 即每 2 h 约升高盐度 20。

全部锥形玻璃管置于恒温水槽中, 水浴控制养殖温度为 (25±0.5) °C, 从管底部连续充气。每天向锥形管中补充蒸馏水, 防止由于水分蒸发引起的盐度变化。实验期间投喂杜氏盐藻 (*Dunaliella viridis*), 每天 1 次。杜氏盐藻在盐度 70 下培养, 对数生长期的藻液用高速冷冻离心机 (Beckman, 6 000 rpm, 10 min) 浓缩, 于 4℃ 下冷藏备用。由于盐度对卤虫摄食无显著影响^[14], 因此本实验中杜氏盐藻投喂量仅随卤虫发育阶段不同有所变化。杜氏盐藻投喂量见表 1。

表 1 杜氏盐藻的日投喂量

Tab. 1 Daily feeding level of *Dunaliella viridis*

日龄(d)	细胞密度 ($\times 10^6$ 细胞/锥形管)
1	2.88
2~4	5.76
5~6	8.64
7~8	11.52
9~10	14.40
11~12	17.28
13~	20.16

1.2.2 卤虫体长和存活率的测定

卤虫生长实验共进行 22 d, 每 3 d 换水 1 次, 换水量为 100%, 并统计存活卤虫数量, 计算存活率。第 22 天时解剖镜下 (Olympus SZ61) 从各实验组中分别取雌雄卤虫各 15 只 (对于两性生殖卤虫而言) 或雌性卤虫 15 只 (对于孤雌生殖卤虫而言), 测量雌虫和雄虫个体体长。卤虫体长的测量为头部前端至叉尾顶端的距离。

1.2.3 卤虫生殖力的观察测定

生殖力实验中卤虫的培养条件同 1.2.1。当可以分辨雌雄个体时 (约培养 10 d 后), 将雌雄配对的两性生殖卤虫和单个孤雌生殖卤虫分别移入盛有 40 mL 相应盐度卤水的 50 mL 塑料锥形离心管内, 每组取 21 对雌雄两性生殖卤虫或 21 只孤雌生殖卤虫。静置培养, 水浴温度为 (25±0.5) °C, 杜氏盐藻投喂量为生长实验的 20%, 22 d 后保持不变。每天对卤虫生殖情况进行观察记录。卤虫生殖力参数如下:

性成熟时间: 雌性个体从初孵无节幼体到卵囊出现的平均天数;

产后代间隔时间: 雌性个体产后代平均间隔天数;

产幼体次数: 雌性个体卵胎生 (产幼体) 的平均次数;

产卵次数: 雌性个体卵生 (产卵) 的平均次数;

每窝产幼体量: 雌性个体每次产幼体的平均个数;

每窝产卵量: 雌性个体每次产卵的平均个数。

产幼体总量与产卵总量比值: 实验组中雌虫产幼体总量与产卵总量的比值。

1.3 数据统 计分析

实验数据采用 SPSS Statistics (Version 19) 软件统计分析。不同卤虫品系和不同盐度条件下 9 个实验组

的存活率(需转化为小数)、雌雄个体体长和生殖力参数均用单因素方差分析(One Way ANOVA)进行比较。所有数据在显著性检验前均做方差齐性检验(Leuven test), 不符合要求的数据进行幂函数或开平方转换。采用 Tukey's multiple range test 检验显著性差异 ($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 盐度对不同品系卤虫存活的影响

不同盐度条件下各品系卤虫的存活率见图 1。在实验盐度范围内, 各品系卤虫存活率均随盐度升高

而降低。总体而言, SFB 卤虫在盐度 180 下存活率显著小于盐度 70 ($P < 0.05$), 盐度 125 下的存活率介于二者之间; 盐度变化对 VSFB 卤虫存活率无显著影响 ($P > 0.05$); 而 BHB 卤虫在盐度 180 下存活率虽然小于 70 和 125, 但由于组内数据较大差别, 无统计学上的显著差异 ($P > 0.05$)。

同一盐度条件下不同卤虫品系的存活率见图 2。在实验盐度范围内, 两性生殖卤虫生存能力强于孤雌生殖卤虫, 且 VSFB 比 SFB 更适合在高盐环境下生存, SFB 在盐度 70 下存活率较高, 而 VSFB 在盐度 125 和 180 下存活率较高。

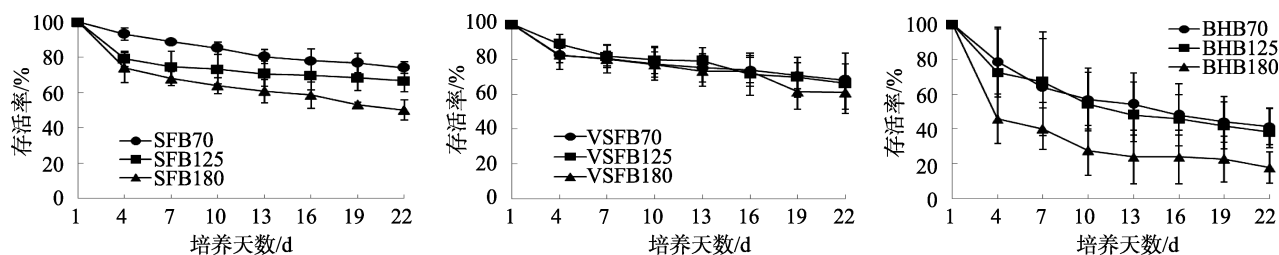


图 1 不同盐度下培养 22 d 孤雌生殖(BHB)和两性生殖(SFB 和 VSFB)卤虫的存活率

Fig. 1 Survival percentage of parthenogenetic (BHB) and bisexual *Artemia* (SFB and VSFB) under different salinities in 22 d culturing period

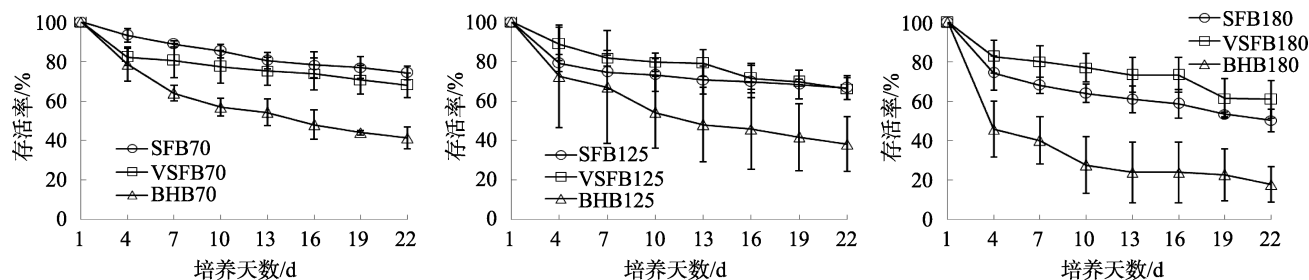


图 2 相同盐度下培养 22 d 孤雌生殖(BHB)和两性生殖(SFB 和 VSFB)卤虫的存活率

Fig. 2 Survival percentage of parthenogenetic (BHB) and bisexual *Artemia* (SFB and VSFB) under the same salinity in 22 d culturing period

2.2 盐度对不同品系卤虫体长的影响

不同盐度条件下培养 22 d 雄性和雌性卤虫平均体长见图 3 和图 4。对于雄虫而言, 盐度 125 和 180 时, SFB 雄虫(分别为 7.78 mm 和 8.01 mm)均显著大于 VSFB 雄虫(分别为 6.96 和 6.81 mm) ($P < 0.05$), 盐度 70 时二者无显著差异 ($P > 0.05$)。对雌虫而言, 两性生殖雌虫体长小于孤雌生殖雌虫, 且 VSFB 雌虫体长略小于 SFB 雌虫。在盐度 70 条件下, SFB 和 VSFB 雌虫体长(分别为 8.25 mm 和 8.02 mm)显著小于 BHB 雌虫(9.52 mm) ($P < 0.05$); 在盐度 125 条件下, VSFB 雌虫体长(8.37 mm)显著小于 BHB 和 SFB 雌虫

(分别为 9.88 mm 和 9.20 mm) ($P < 0.05$); 在盐度 70 条件下, 各品系雌虫体长无显著差异 ($P > 0.05$)。总体而言, 盐度变化对 VSFB 雌虫体长没有显著影响 ($P > 0.05$)。

2.3 盐度对不同品系卤虫生殖力的影响

由表 2 可知, 盐度显著影响孤雌生殖卤虫性成熟时间, 并随盐度的升高而延长 ($P < 0.05$), 但其对两性生殖卤虫的性成熟时间没有显著影响。同样两性生殖卤虫平均产后代间隔受盐度变化的影响较小, 而孤雌生殖卤虫则受其影响较大, 以盐度 180 条件下尤为显著 ($P < 0.05$)。总体而言, 除了盐度 70 条件下 VSFB

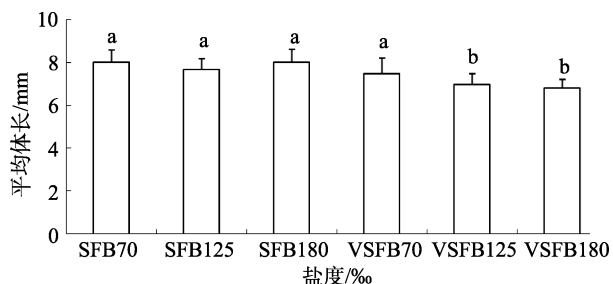


图 3 不同盐度下培养 22 d 两性生殖(SFB 和 VSFB)雄性卤虫平均体长

Fig. 3 Average body length of male bisexual *Artemia* (SFB and VSFB) cultured for 22 days under different salinities

注: 不同上标字母表示单因子方差分析(One Way ANOVA)所显示出的显著差异($P < 0.05$)(下同)

Error bars (standard deviation) with different letter codes are significantly different at $P < 0.05$ (One Way ANOVA).

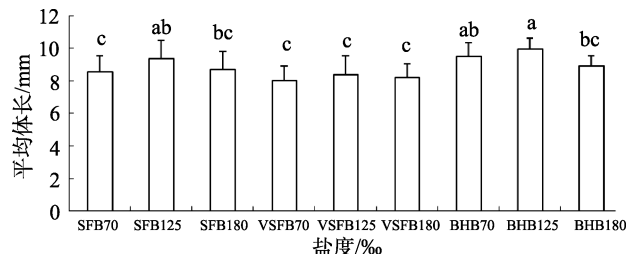


图 4 不同盐度下孤雌生殖(BHB)和两性生殖(SFB 和 VSFB)雌性卤虫平均体长(mm)

Fig. 4 Average body length (mm) of female parthenogenetic (BHB) and bisexual *Artemia* (SFB and VSFB) cultured for 22 days under different salinities

每窝产幼体数量和盐度 180 条件下 VSFB 每窝产卵数量。所有卤虫品系随盐度升高, 每窝产幼体和产卵数量均有减少趋势($P < 0.05$)。SFB 和 VSFB 卤虫随盐度增加, 产幼体次数增加而产卵次数呈降低趋势; BHB 卤虫的产幼体和产卵次数随盐度变化不显著, 但均低于 VSFB。在盐度 70 时, BHB 以产幼体占绝对优势(产幼体总量与产卵总量比值为 14.3), SFB 以产卵居多(比值为 0.6), VSFB 产幼体和产卵总量接近, 但产幼体略多于产卵(比值为 1.3)。而在盐度 125 和 180 时, VSFB 以产幼体占绝对优势(产幼体总量与产卵总量比值分别为 19.8 和 10.8), SFB(比值分别为 1.4 和 2.4) 和 BHB 也以产幼体居多(比值分别为 3.8 和 2.4)。

3 讨论与结论

3.1 盐度对不同品系卤虫存活的影响

在自然环境中, 温度、盐度和饵料是影响卤虫种群分布和丰度的重要因子^[17-19]。卤虫由于长期地理隔离而对特殊生境产生不同的耐受能力, 从而形

成遗传和生理上的差异。虽然卤虫可生存于盐度 10~340 的水环境中, 在盐度低于 45 的自然水域中, 由于捕食者大量存在而很难发现卤虫^[20], 而在盐度高于 200 的高盐环境中, 由于食物短缺和用于渗透压调节耗能较大而使卤虫的生长和繁殖受到限制。

Vanhaecke 等^[14]在对 13 个孤雌和两性品系卤虫进行研究后发现, 卤虫在盐度 35~100 范围内具有较高的存活率。Tirantaphyllidis 等^[15]指出渤海湾塘沽盐场孤雌生殖卤虫存活率在盐度 60 和 100 时较高, 而在盐度 35, 140 和 180 的存活率较低, 养殖 23 d 的存活率均低于 50%; 但 *A. franciscana* 适应的盐度更加宽泛, 在盐度 35~180 范围内, 养殖 23 d 的存活率均达到 60% 以上。本研究结果与上述研究一致, 即随盐度升高, 孤雌和两性生殖卤虫的存活率明显降低, 但两性生殖卤虫的存活率显著高于孤雌生殖卤虫, 说明两性生殖卤虫对盐度适应范围更广。Tackaert 等^[7]的野外观察也验证了这一结果, 即在引种 SFB 卤虫的渤海湾塘沽盐场高级蒸发池中, 孤雌生殖卤虫的死亡率较高。本研究小组在 2010 年和 2011 年对山东埕口盐场和天津汉沽盐场的卤虫种群调查中, 也发现在高盐(盐度 > 150)条件下, 孤雌和两性生殖卤虫混杂的渤海湾盐田卤虫种群的雌雄性比降低(更接近于 1:1), 说明两性生殖品系随盐度的升高, 逐渐占据生态位优势^[21]。

3.2 盐度对不同品系卤虫生殖性能的影响

自然条件下孤雌生殖和两性生殖卤虫以卵生(Viviparity, 产休眠卵)或卵胎生(Ovoviviparity, 产无节幼体)的生殖方式进行繁殖。卤虫生活史中卵生和卵胎生殖方式受环境条件影响, 或交替出现, 或连续行一种生殖方式。卵胎生使种群数量迅速增加, 卵生使种群在恶劣条件下得以保存。当外界条件使产生的后代能够成熟并繁殖时, 雌体倾向于产幼体; 而当外界条件使后代不易存活时, 卤虫倾向于产休眠卵^[8]。Abatzopoulos 等^[22]通过研究温度和盐度对克隆系孤雌生殖卤虫的生殖和生命史特征的影响, 发现孤雌卤虫随盐度升高性成熟时间延长, 产卵比例升高, 本研究结果与其相似。这可能与高盐条件下孤雌生殖卤虫需要泵出更多 Na^+ 以维持体内渗透压的平衡, 因此用于调节渗透压的消耗大, 不利于生长发育有关。但盐度对两性生殖卤虫的上述指标影响不明显, 说明两性生殖卤虫对盐度的耐受力较强。

值得一提的是, 本研究不仅证实了盐度对两性和孤雌生殖卤虫存活和生殖力的影响规律, 更重要

表 2 不同盐度下孤雌生殖(BHB)和两性生殖(SFB 和 VSFB)雌性卤虫的生殖力(平均值 ± 标准差/观察样本数)
 Tab. 2 Reproductive traits of female parthenogenetic (BHB) and bisexual (SFB and VSFB) *Artemia* cultured with different salinities(Average value ± standard deviation / number of the observed animal)

项目	盐度(‰)								
	SFB70	SFB125	SFB180	VSFB70	VSFB125	VSFB180	BHB70	BHB125	BHB180
性成熟 天数(d)	13.3±1.5 ^b (21)	12.9±1.2 ^b (21)	13.4±1.1 ^{ab} (21)	13.5±0.6 ^{ab} (21)	13.6±0.6 ^{ab} (21)	13.0±0.8 ^b (21)	11.2±1.0 ^c (21)	13.5±1.1 ^{ab} (21)	14.4±1.2 ^a (21)
产后代间 隔天数(d)	4.3±1.5 ^a (20)	4.4±1.4 ^a (18)	4.2±0.7 ^a (21)	4.0±1.0 ^a (20)	4.3±2.1 ^a (21)	3.9±0.7 ^a (20)	3.7±1.6 ^a (19)	4.9±1.6 ^a (16)	3.1±2.2 ^b (9)
产幼体 次数(次)	0.8±1.2 ^c (19)	1.5±0.9 ^{de} (21)	2.5±1.3 ^{bc} (21)	2.2±0.8 ^{cd} (20)	3.4±0.8 ^{ab} (21)	3.7±1.0 ^a (20)	1.9±0.5 ^{cde} (19)	1.5±0.5 ^{de} (20)	1.6±0.7 ^{de} (16)
产卵次 数(次)	2.0±1.3 ^a (19)	1.1±1.1 ^{bc} (21)	1.1±1.1 ^{bc} (21)	1.9±0.8 ^{ab} (15)	2.0±1.0 ^a (3)	1.8±1.0 ^b (4)	1.3±0.5 ^c (4)	1.1±0.4 ^c (8)	1.3±0.7 ^{bc} (9)
每窝产幼 体量(个)	128.7±19.4 ^a (18)	92.6±21.0 ^{ab} (19)	65.7±7 ^{bc} (19)	82.3±19.1 ^{ab} (20)	107.8±20.9 ^a (21)	71.7±18.8 ^{bc} (20)	96.6±28.2 ^{ab} (19)	76.3±27.1 ^{bc} (20)	51.8±17.0 ^c (16)
每窝产 卵量(个)	109.7±41.4 ^a (18)	78.7±24.2 ^{bc} (14)	57.8±17.8 ^{cd} (14)	96.3±26.0 ^{ab} (15)	59.3±29.6 ^d (3)	68.8±35.1 ^{cd} (4)	124.5±12.0 ^a (2)	98.0±35.2 ^{ab} (5)	63.5±33.1 ^{cd} (7)
产幼体总 量与产卵 总量比值	0.6 (2393/4356)	1.4 (2922/2047)	2.4 (3531/1466)	1.3 (3586/2705)	19.8 (7738/390)	10.8 (5350/494)	14.3 (3566/249)	3.8 (2306/602)	2.4 (1394/580)

注: 不同上标字母表示单因子方差分析(One Way ANOVA)显示出的显著差异(P<0.05)。性成熟天数: 雌性个体从初孵无节幼体到卵囊出现的平均天数; 产后代间隔天数: 雌性个体产后代平均间隔天数; 产幼体或次数: 雌性个体卵胎生(产幼体)或卵生(产卵)平均次数; 每窝产幼体或产卵量: 雌性个体每次产幼体或产卵的平均个数; 雌虫产幼体总量与产卵总量的比值

的是揭示了虽然 VSFB 和 SFB 同属于 *A. franciscana*, VSFB 在高盐度下(125 和 180)成活率较高, 体长较小, 且在不同盐度下的生殖方式和产后代数量均与 SFB 有显著差异, 说明越南人工养殖所产 VSFB 卤虫卵经过二十余年长期适应人工养殖环境, 高温和丰富的饵料使 VSFB 卤虫繁殖周期缩短, 且以产幼体的生殖方式为主。同时 Kappas 等^[10]的研究表明, 在长期选择压力作用下, VSFB 和 SFB 卤虫在表型(Phenotype)甚至基因型(Genotype)上有显著分化。

综上, 与渤海湾盐田固有的孤雌生殖卤虫(BHB)和由于 90 年代引种而存在于渤海湾盐田的两性生殖卤虫(SFB)相比, 盐度变化对越南产 VSFB 卤虫存活率无显著影响, VSFB 在高盐环境下存活率较高, 且以产幼体占绝对优势, 表明 VSFB 卤虫更加适应于高盐盐田环境, 有利于该品系卤虫在盐田中优势种群的建立。

致谢: 感谢比利时根特大学水产养殖与卤虫参考中心(Laboratory of Aquaculture and *Artemia* Reference Center, Gent University, Belgium)Dr. Gilbert Van Stappen提供的 BHB 卤虫卵, 中盐制盐工程技术研究院辛乃宏高级工程师提供的 SFB 卤虫卵, 以及越南芹苴大学(Can Tho University, Vietnam)Dr. Nguyen

Van Hoa 提供的 VSFB 卤虫卵。天津科技大学李沫洋、张礼和张志超等同学为本研究付出了艰苦努力, 在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] Tackaert W, Sorgeloos P. The use of brine shrimp *Artemia* in biological management of solar saltworks [J]. Proceeding of Seventh Symposium on Salt, 1993, 1: 617-622.
- [2] Persoone G, Sorgeloos P, Roels O, et al. The brine shrimp *Artemia* [M]. Wetteren: Universa Press, 1980.
- [3] Triantaphyllidis G V, Zhang B, Zhu L X, et al. International study on *Artemia*. L. Review of the literature on *Artemia* from salt lakes in the People's Republic of China [J]. International Journal of Salt Lake Research, 1994, 3(1): 1-12.
- [4] Cai Y N. A re-description of the brine shrimp (*Artemia sinica*) [J]. The Wasmann Journal of Biology, 1989, 47(1/2): 105-110.
- [5] Abatzopoulos T J, Zhang B, Sorgeloos P. International study of *Artemia* LIX. *Artemia tibetiana*: preliminary characterization of a new *Artemia* species found in

- Tibet (People's Republic of China) [J]. International Journal of Salt Lake Research, 1998, 7(1): 41-44.
- [6] 张波, 郭金昌, 商占恒. 旧金山湾卤虫 (*Artemia franciscana*) 在中国渤海湾地区的引种 [J]. 海湖盐与化工, 1993, 22(3): 7-9.
- [7] Tackaert W, Sorgeloos P. Biological management to improve *Artemia* and salt productions at Tangu Saltworks in the P. R. China[A]. Cheng L. Proceedings of International Symposium on Biotechnology of Saltponds[C]. Tangu, Tianjin, China: Salt Research Institute. 78-83.
- [8] 管越强, 张道川, 印象初. 渤海湾海丰盐场卤虫种类组成与生殖特性[J]. 海洋环境科学, 2003, 22 (4): 1-4.
- [9] Baert P, Nguyen T N A, Quynh V D, et al. Increasing cyst yields in *Artemia* culture ponds in Vietnam: the multi-cycle system [J]. Aquaculture Research, 1997, 28 (10): 809-814.
- [10] Kappas I, Abatzopoulos T J, Nguyen V H, et al. Genetic and reproductive differentiation of *Artemia franciscana* in a new environment [J]. Marine Biology, 2004, 46 (1): 103-117.
- [11] Browne R A, Sallee S E, Grosch D S, et al. Partitioning genetic and environmental components of reproduction and lifespan in *Artemia* [J]. Ecology, 1984, 65 (3): 949-960.
- [12] Browne R A, Davis L E, Sallee S E. Effects of temperature and relative fitness of sexual and asexual brine shrimp *Artemia* [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1988, 124(1): 1-20.
- [13] Browne R A, Halanych K M. Competition between sexual and parthenogenetic *Artemia*: A re-evaluation (Branchiopoda Anostraca) [J]. Crustaceana, 1989, 57 (1): 57-71.
- [14] Vanhaecke P, Siddall S E, Sorgeloos P. International study on *Artemia*. XXXII. Combined effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various geographical origins [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1984, 80 (1): 259-275.
- [15] Triantaphyllidis G V, Pouloupoulou K, Abatzopoulos T J, et al. International study on *Artemia* XLIX. Salinity effect on survival, maturity, growth, biometrics, reproductive and life span characteristics of a bisexual and a parthenogenetic population of *Artemia* [J]. Hydrobiologia, 1995, 302 (3): 215-227.
- [16] D'Agostino A S, Provasoli L. Effects of salinity and nutrients on mono- and diaxenic cultures of two strains of *Artemia salina* [J]. Biological Bulletin, 1968, 134: 1-14.
- [17] Browne R A. The cost of reproduction in brine shrimp [J]. Ecology, 1982, 63 (1): 43-47.
- [18] Dana G L, Lenz P H. Effects of increasing salinity on an *Artemia* population from Mono Lake, California[J]. Oecologia, 1986, 68 (3): 428-436.
- [19] Sorgeloos P, Bengtson D A, Declair W, et al. *Artemia* Research and Applications. (Vol. 3)[M]. Wetteren: Universa Press, 1987: 101-126.
- [20] Lavens P, Sorgeloos P. Manual on the production and use of live food for aquaculture [M]. Rome: FAO, 1996: 161-163.
- [21] 王婧, 隋丽英, 贺华, 等. 山东埕口盐场海欣分场卤虫种群生态调查[J]. 生态学杂志, 2012, 31(11): 2848-2854.
- [22] Abatzopoulos T J, El-Bermawi N, Vasdekis C H, et al. Effect of salinity and temperature on reproductive and life span characteristics of clonal *Artemia* [J]. Hydrobiologia, 2003, 492 (1/3): 191-199.

Effect of salinity on survival and reproductive performance of different *Artemia* strains

SUI Li-ying, WANG Jing, HE Hua, DENG Yuan-gao

(Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457)

Received: Jun.,3,2012

Key words: *Artemia*; parthenogenesis; bisexuality; salinity; survival; reproductive performance

Abstract: This paper investigated the effect of salinity (70, 125 and 180, respectively) on survival and reproductive performance of autochthonous *Artemia parthenogenetica* from Bohai Bay saltworks, China (BHB) and *A. franciscana* obtained from the saltponds of San Francisco Bay, USA (SFB) and artificially-produced from Vinh Chau, Vietnam (VSFB). The results indicated that, within the experimental salinity range, the survival rate of all tested *Artemia* strains declined significantly as salinity rising. The SFB and VSFB had a better tolerance to higher salinity than BHB. Higher salinity resulted in significantly longer maturation period and brood interval for BHB, while no significant effect was observed on SFB and VSFB. The nauplii and cysts yield per brood of all tested strains tended to reduce along with salinity increasing. At lower salinity (70), BHB dominantly produced nauplii, VSFB produced more nauplii than cysts, and SFB produced more cysts than nauplii. In contrast, at higher salinity (125 and 180), VSFB dominantly produced nauplii, and SFB and BHB produced more nauplii than cysts. In conclusion, our data provided evidence that VSFB had a better survival rate and dominant ovoviviparous reproduction at higher salinity compared to local BHB and SFB, and thus are more adapted to the environmental conditions in salt ponds and may be a more effective colonizer in saltworks.

(本文编辑: 谭雪静)