

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 23 期
Vol.30 No.23
2010



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 30 卷 第 23 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中耕地类型及其土壤氮磷储量的变化	武俊喜,程 序,焦加国,等 (6309)
海洋生态资本概念与属性界定	陈 尚,任大川,李京梅,等 (6323)
海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6331)
黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征	杜有新,潘根兴,李恋卿,等 (6338)
长白山阔叶红松林林地槭属树木木生真菌的群落组成和分布	魏玉莲,戴玉成,袁海生,等 (6348)
内蒙古退化荒漠草原土壤细菌群落结构特征	吴永胜,马万里,李 浩,等 (6355)
盐度对尖瓣海莲幼苗生长及其生理生态特性的影响	廖宝文,邱凤英,张留恩,等 (6363)
基于树轮火疤塔河蒙克山樟子松林火灾的频度分析	胡海清,赵致奎,王晓春,等 (6372)
不同农业景观结构对麦蚜种群动态的影响	赵紫华,石 云,贺达汉,等 (6380)
黑河中游荒漠灌丛斑块地面甲虫群落分布与微生境的关系	刘继亮,李锋瑞,刘七军,等 (6389)
刺槐树冠光合作用的空间异质性	郑 元,赵 忠,周 慧,等 (6399)
南海北部夏季基础生物生产力分布特征及影响因素	宋星宇,刘华雪,黄良民,等 (6409)
怒江三种裂腹鱼属鱼类种群遗传结构	岳兴建,汪登强,刘绍平,等 (6418)
大型水生植物对重金属的富集与转移	潘义宏,王宏镔,谷兆萍,等 (6430)
依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线	徐兆礼,陈佳杰 (6442)
正交试验法分析环境因子对苦草生长的影响	朱丹婷,李铭红,乔宁宁 (6451)
基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植被提取	林 川,官兆宁,赵文吉 (6460)
基于 CVM 的三江平原湿地非使用价值评价	敖长林,李一军,冯 磊,等 (6470)
耕地易地补充经济补偿的生态价值——以江阴市和兴化市为例	方 斌,杨 叶,郑前进,等 (6478)
自然旅游地居民自然保护态度的影响因素——中国九寨沟和英国新森林国家公园的比较	程绍文,张 捷,徐菲菲 (6487)
基于 PSR 方法的区域生态安全评价	李中才,刘林德,孙玉峰,等 (6495)
灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响	滕中华,智 丽,吕 俊,等 (6504)
秦岭北坡不同生境栓皮栎实生苗生长及其影响因素	马莉薇,张文辉,薛瑶芹,等 (6512)
子午岭三种生境下辽东栎幼苗定居限制	郭 华,王孝安,朱志红 (6521)
温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响	饶小珍,林 岗,张殿彩,等 (6530)
锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律	王海梅,李政海,韩国栋,等 (6538)
北京市水足迹及农业用水结构变化特征	黄 晶,宋振伟,陈 阜 (6546)
延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测	孙智辉,雷延鹏,卓 静,等 (6555)
冰川前缘土壤微生物原生演替的生态特征——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王晓霞,张 涛,孙 建,等 (6563)
储藏方式和时间对三峡水库消落区一年生植物种子萌发的影响	申建红,曾 波,施美芬,等 (6571)
云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征	刘万德,苏建荣,李帅锋,等 (6581)
青藏高原高寒矮嵩草草甸碳增汇潜力估测方法	曹广民,龙瑞军,张法伟,等 (6591)
基于 CEVSA2 模型的亚热带人工针叶林长期碳通量及碳储量模拟	顾峰雪,陶 波,温学发,等 (6598)
太原盆地土壤呼吸的空间异质性	张义辉,李洪建,荣燕美,等 (6606)
专论与综述	
热带森林碳汇或碳源之争	祁承经,曹福祥,曹受金 (6613)
景观对河流生态系统的影响	欧 洋,王晓燕 (6624)
自由空气中臭氧浓度升高对大豆的影响	杨连新,王云霞,赵秩鹏,等 (6635)
研究简报	
基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例	王女杰,刘 建,吴大千,等 (6646)
鹤伴山国家森林公园土壤甲螨群落结构	许士国,付荣恕 (6654)
栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应	桑玉强,张劲松,孟 平,党宏忠,等 (6661)
赤眼蜂发育速率对梯度恒温的响应	陈洪凡,岑冠军,黄寿山 (6669)
学术信息与动态	
GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用	李文杰,张时煌 (6674)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 42 * 2010-12	

温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响

饶小珍*, 林 岗, 张殿彩, 陈寅山, 许友勤

(福建师范大学生命科学学院, 发育与神经生物学福建省高校重点实验室, 福建 福州 350108)

摘要: 龟足 (*Capitulum mitella* Linnaeus) 在我国主要分布于长江口以南海浪剧烈冲击的暴露型岩相海岸的中、高潮区, 是一种颇具养殖潜力和市场前景的新品种。研究温度 (24、27、30、33℃) 和盐度 (28、31、34) 对龟足胚胎发育和幼虫生长的协同影响, 可为龟足的人工育苗提供依据。结果如下 (1): 33℃-28 温盐度组合胚胎发育时间最短 144h, 27℃-28 温盐度组合胚胎相对孵化率最高。温度与盐度对胚胎发育时间没有显著影响; 但温度和盐度对胚胎孵化率有极显著影响, 温度与盐度间的交互作用显著。胚胎发育最适宜的温盐度组合是 27℃-28。(2): 27℃ 的 3 个盐度组、30℃-31 温盐度组合无节幼虫持续时间最短。在同一盐度条件下以 27℃ 的存活率较高, 在同一温度条件下以盐度 31 的存活率较高, 其中以 27℃-31 温盐度组合的存活率最高; 存活率 1 和存活率 2 分别高达 99.0%、90.7%。27℃-28、27℃-31 温盐度组合变态率最高, 变态率分别为 81.8%、73.7%。34 高盐组幼虫的存活率和变态率均很低甚至为零。温度和盐度对幼虫存活率和变态率有极显著影响, 两者的交互作用极为显著。综合无节幼虫持续时间、存活和变态情况, 27℃-31 温盐度组合为幼虫生长发育的最佳组合条件。龟足胚胎发育、无节幼虫的生长和变态对温度盐度的敏感性有所不同, 这是由龟足的自身繁殖特点及生活环境决定的。

关键词: 龟足; 温度; 盐度; 胚胎发育; 幼虫生长; 幼虫变态

Combined effects of temperature and salinity on embryonic development and larval growth of *Capitulum mitella*

RAO Xiaozhen*, LIN Gang, ZHANG Diancai, CHEN Yinshan, XU Youqin

(College of Life, Key Laboratory of Developmental Biology and Neurobiology, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: The stalked barnacle, *Capitulum mitella*, is a sessile pedunculate cirripede that inhabits the exposed rocky intertidal frame, distributing south coast of the Changjiang Estuary in China. *C. mitella* is widely used as food in Fujian, Zhejiang and Guangdong. Because of being highly valued fishery resource and its economic importance, *C. mitella* will be a new breeding variety with considerable potential and market prospect. Temperature and salinity are known to regulate embryonic development, growth, survival and duration of larvae in many marine invertebrates. The combined effects of temperature and salinity on embryonic development and larval growth of *C. mitella* were investigated under controlled laboratory conditions, which could provide insight into reference for culturing of *C. mitella*. Four temperature including 24, 27, 30℃ and 33℃ as well as three salinity including 28, 31 and 34 were selected. The results showed as follows. The embryonic development time was the shortest (144h) at 33℃-28, and the longest (216 h) at 24℃-34, 24℃-31 of temperature and salinity. The embryonic hatching rate was the highest (100%) at 27℃-28, the lowest (52.1%) at 33℃-34 of temperature and salinity. Temperature, salinity and their interaction had significant affects on embryonic hatching rate, but had not significant affects on embryonic development time. The optimum rearing condition of temperature and salinity for embryonic development was 27℃-28. The fastest larval development (Nauplius II to cypris stage) occurred at 30℃-31 of temperature and salinity (7 days) and 27℃ regardless of variation in salinity at this temperature (8 days). Nauplius duration lasted 11 days at 24℃-34 and 33℃-34. Larval survival rate was higher at temperature 27℃ for fixed levels of salinity, at salinity 31 for fixed levels of temperature. The maximum survival rate 1 and survival rate 2 were

基金项目: 福建省科技厅重点项目 (2006N0066)

收稿日期: 2010-01-18; **修订日期:** 2010-10-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xzrao@fjnu.edu.cn

99.0% and 90.7% respectively at 27°C-31 of temperature and salinity. Metamorphosis rate was higher at 27°C-28 (81.8%), 27°C-31 (73.7%) of temperature and salinity. When salinity was up to 34, larval survival rate and metamorphosis rate were very low or even zero. The factors of temperature, salinity had significant affects on larval survival rate and metamorphosis rate, with significant interaction between temperature and salinity on larval growth. Considering total nauplius duration, survival and metamorphosis, the optimal combination of temperature and salinity for the larval growth and development of *C. mitella* was at 27°C and 31. Larvae of *C. mitella* to salinity and temperature was more sensitive than embryos. We assume that the different response to environmental factors between embryos and larvae of *C. mitella* is attributed to its reproductive characteristic and habitat.

Key Words: *Capitulum mitella*; temperature; salinity; embryonic development; larval growth; larval metamorphosis

龟足(*Capitulum mitella* Linnaeus 1758)隶属于节肢动物门(Arthropoda)、甲壳纲(Crustacea)、蔓足下纲(Cirripedia)、有柄目(Pedunculata)、指茗荷科(Pollicipidae)、龟足属(*Capitulum*)^[1],成体因形似龟脚而得名。在我国主要分布于长江口以南海浪剧烈冲击的暴露型岩相海岸的中、高潮区,属于亚热带和热带性种类。成体分头状部和柄部,柄部肌肉发达,肉质细嫩味美,富含微量元素和不饱和脂肪酸^[2],是一种颇具发展前景的海水养殖品种。目前市场上销售的龟足全部依靠天然海区采捕,资源量直线下降,有必要开展龟足的人工育苗及增养殖研究。

温、盐度是影响海洋无脊椎动物胚胎发育和生长的重要因子。有关温、盐度对海洋甲壳类的影响多见于单因子分析,如 Nasrolahi 的盐度对 *Balanus improvisus* 幼虫发育和存活的影响^[3],Anil^[4]的温度和盐度对纹藤壶 *B. amphitrite* 幼虫发育和变态的影响,以及 Lewis 的环境因子对 *Pollicipes polymerus* 胚胎发育和幼虫生长的影响^[5]等。但针对温、盐度两者对海洋甲壳类联合作用的研究较少,如 Thiagarajan 等的温度和盐度对三角藤壶 *B. trigonus* 幼虫发育和附着变态的交互影响^[6],王洪全关于水温、盐度双因子交互作用对河蟹 *Eriocheir sinensis* 胚胎发育的影响^[7]。本文在研究温度和盐度单因子对龟足胚胎和幼虫发育影响^[8-9]的基础上,进一步探讨温度与盐度对其胚胎发育和幼虫生长的联合作用,以期为龟足的人工育苗提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

龟足亲体于2008年5月至10月采自福建省福州市连江县筱埕镇定海海区。活体解剖,从其外套腔中获得健康的已受精卵块,挑选发育程度相对一致的原肠期胚胎作为试验材料;选取褐色卵块在黑暗条件下充气孵化,利用幼虫趋光习性、收集运动活泼的Ⅰ期无节幼虫。室温(24°C—28°C)下12 h内Ⅰ期无节幼虫发育为Ⅱ期无节幼虫,以Ⅱ期无节幼虫作为幼虫生长的试验材料。

试验用海水经砂滤后,用一层中性滤纸及申瓯3号砂芯漏斗过滤,pH为7.9—8.0,盐度27—29。用去离子水及海水晶(“鱼虾宝”牌速溶海水晶97b型)调节所需海水的盐度。

幼虫饵料为湛江叉鞭金藻(*Dicratelia zhanjiangensis*)(实验室室温24—28°C、盐度27—29条件下,用f/2培养液单种培养)。

1.2 方法

1.2.1 温、盐度设置及胚胎孵化率计算

设置3个盐度28、31、34和4个温度24、27、30、33°C,用控温仪水浴法调节水温,误差为±0.5°C。按双因子3×4的组合设置12组,3个平行。3个发育较同步的原肠期卵块按“米”字平均切割成12块。试验在黑暗中进行,每天全量换水1次,海水提前预温至各试验组温度。

每天1次观察胚胎发育时期,记录孵化的幼虫数,直至幼虫全部孵化或无幼虫孵化试验结束。胚胎发育分期参考林岗等^[10]的标准。胚胎发育时间指从原肠期胚胎到孵化出无节幼虫所经历的最短时间;胚胎孵化率以孵出幼虫最多的卵块为100设定,其它试验组孵出幼虫的数目与之相比,得出相对孵化率。

1.2.2 幼虫培养及存活率、变态率统计

温度、盐度设置同 1.2.1。试验在 250 mL 的烧杯中进行,海水体积为 200 mL,幼虫培养密度为 0.5 只/mL,每个烧杯共放入 100 只Ⅱ期无节幼虫。Ⅱ—Ⅲ期无节幼虫日投饵量为 3×10^4 /mL,Ⅳ期无节幼虫开始日投饵量为 5×10^4 /mL。试验在黑暗中进行,连续充氧,每天全量换水 1 次,海水均提前预温至各试验组温度。

每天 1 次观察记录幼虫的生长发育情况、存活数,统计存活率和变态率,直至所有无节幼虫变态为金星幼虫或幼虫死亡试验结束。文中所指幼虫存活率 1 为Ⅵ期无节幼虫数占Ⅱ期无节幼虫总数的百分率;存活率 2 指金星幼虫数占Ⅱ期无节幼虫总数的百分率;变态率指金星幼虫数占Ⅵ期无节幼虫总数的百分率。无节幼虫持续时间指从Ⅱ期无节幼虫发育至金星幼虫所需的最短时间。

1.2.3 数据分析

试验数据利用 SPSS13.0 软件进行双因素和单因素方差分析(ANOVA),多重比较采用 Tukey 法。

2 结果

2.1 温度、盐度对龟足胚胎发育的联合影响

2.1.1 温度、盐度对龟足胚胎发育速度的影响

不同温度、盐度下龟足胚胎发育经历的时间不同(表 1)。33℃-28 温盐度组胚胎发育最快,发育时间仅 144h;24℃-34、24℃-31 温盐度组发育最慢需 216 h。经双因素方差分析(表 2)显示各温度盐度组之间胚胎发育时间的差异达到显著水平($P < 0.05$,但接近 0.05),但温度与盐度之间的交互作用不显著。而经单因素方差分析和多重比较表明,各温度盐度组间没有差异。表明在所设置的温度和盐度范围龟足胚胎发育的速度没有明显不同。

表 1 不同温度、盐度组合下龟足胚胎发育经历的时间/h

Table 1 The effect of temperature and salinity on embryonic development time of *C. mitella*

盐度 Salinity	温度 Temperature/℃			
	24	27	30	33
28	168 ± 0.0	160 ± 13.9	152 ± 36.7	144 ± 24.0
31	216 ± 24.0	184 ± 36.7	168 ± 24.0	176 ± 27.7
34	216 ± 48.0	176 ± 27.7	160 ± 27.7	176 ± 27.7

2.1.2 温度、盐度对龟足胚胎孵化率的影响

不同温度、盐度下龟足胚胎的孵化率不同(图 1),但各温度盐度组的孵化率均达到 50% 以上。方差分析表明,温度和盐度对孵化率有极显著影响,温度与盐度的交互作用显著(表 2)。在同一盐度条件下,孵化率随温度变化的趋势一致,27℃ 时的最高,33℃ 时的最低;在 28 和 31 盐度时各温度组的孵化率有差异($P < 0.05$),但在 34 盐度各温度组间没有差异;表明随盐度的上升,温度的作用减弱。在同一温度条件下,盐度 28 的孵化率最高,盐度 34 的最低;24—30℃ 时各盐度组的孵化率有差异($P < 0.05$),33℃ 时各盐度组没有差异;表明随温度的上升,盐度的作用减弱。龟足胚胎发育适宜的温盐度组合为 27℃-28,其次是 30℃-28。

表 2 不同温度、盐度组合对龟足胚胎发育影响的方差分析表

Table 2 Analysis of variance showing the effect of temperature, salinity on embryonic development of *C. mitella*

变异来源 Source	df	发育时间 Development time			孵化率 Hatching rate	
		MS	F	P	MS	F
温度 Temperature (A)	3	2837.3	3.4 *	0.034	706.5	23.9 **
盐度 Salinity (B)	2	3184.0	3.8 *	0.036	897.3	30.3 **
温度 × 盐度 (A × B)	6	832.0	0.3	0.920	116.7	3.9 *
误差 Error	24	21.4			29.6	

2.2 温度、盐度对龟足幼虫生长变态的联合影响

2.2.1 温度、盐度对龟足幼虫生长速度的影响

在 24—30℃,无节幼虫生长活跃(个体色泽鲜艳、胃肠饱满、趋光性很强),均能成功发育到金星幼虫,但不同温盐度下幼虫发育时间有所差异(表 2)。在 24℃ 幼虫生长较缓慢,但趋光性很强,其中 31 盐度组的幼虫生长速度要比 28 和 34 盐度组的快(无节幼虫期持续时间分别为 9、10、11d)。27℃ 组幼虫发育的整齐度最好,3 个盐度组无节幼虫持续时间均为 8d,并且在第 11 天几乎所有存活的无节幼虫都发育为金星幼虫。在 30℃,28 盐度组的无节幼虫持续时间为 8d;31 和 34 盐度组仅 7d;但 31 盐度组幼虫的趋光性和发育整齐度都较 28 和 34 盐度组的好。在 33℃ 幼虫生活力最差;尤其是 28 盐度组的幼虫第 7 天仅发育到Ⅵ期无节幼虫,最终无法发育到金星幼虫;相对而言 31 盐度组的情况较好,第 11 天每个平行组都有少量Ⅵ期无节幼虫变态为金星幼虫;34 盐度组的无节幼虫持续 11d,仅个别平行组有极少Ⅵ期无节幼虫变态为金星幼虫。

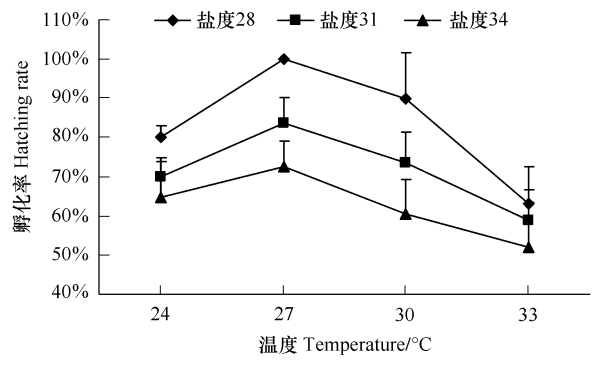


图 1 温度盐度组合对龟足胚胎孵化率的影响

Fig. 1 The effect of temperature and salinity on cumulative hatching rate of embryos of *C. mitella*

表 2 不同温度、盐度组合对龟足无节幼虫发育时间的影响

Table 2 The effect of temperature and salinity on the nauplius development time of *C. mitella*

盐度 Salinity	28				31				34			
	24	27	30	33	24	27	30	33	24	27	30	33
无节幼虫持续时间 Nauplius duration/d	10	8	8	8 *	9	8	7	10	11	8	7	11

* 该温度-盐度组,无节幼虫无法发育到金星幼虫,到第 8 天死亡

因此,综合幼虫生长活力、趋光性强弱、发育的整齐度、发育的速度等指标,以 27℃ 的 3 个盐度组、30℃—31 温盐度组合龟足的幼虫发育最好。

2.2.2 温度、盐度对龟足幼虫存活和变态的影响

本试验所设置的不同温度、盐度对龟足幼虫的生长有显著影响,两者间对存活率和变态率存在显著的交互作用(表 3)。不同温度盐度组合对龟足幼虫存活率 1、存活率 2 和变态率有极大影响(图 2)。

表 3 不同温度、盐度组合对龟足幼虫生长变态联合影响的方差分析表

Table 3 Analysis of variance showing the effect of temperature, salinity and their interaction on larval growth of *C. mitella*

变异来源 Source	df	存活率 1 Survival rate 1		存活率 2 Survival rate 2		变态率 Metamorphosis rate	
		MS	F	MS	F	MS	F
温度 Temperature (A)	3	1986.4	92.8 **	2286.2	150.9 **	3816.6	115.5 **
盐度 Salinity (B)	2	3346.0	156.3 **	2002.4	132.2 **	1726.3	52.2 **
温度×盐度 (A×B)	6	162.3	7.6 **	182.8	12.1 **	402.3	12.2 **
误差 Error	24	21.4		15.2		33.1	

数据经反正弦函数转换 ** $P < 0.001$, * $P < 0.05$

在同一盐度条件下,温度对存活率 1、存活率 2 和变态率都有显著影响(表 4)。存活率 1 与存活率 2 的变化趋势一致,以 27℃ 的最高,33℃ 的最低。盐度 28 和 31 时,27℃ 时的变态率最高;盐度 34 时 30℃ 的变态率高于 27℃ 的,但 27℃ 与 30℃ 的变态率没有差异。在同一温度条件下,盐度对存活率 1、存活率 2 和变态率也有显著影响(表 5)。存活率 1 和存活率 2 以盐度 31 的最高,与其它 2 个盐度的有显著差异。在高温 33℃ 时,各盐度组的存活率 2 极低,甚至为零。但盐度对变态率的影响与存活率相比有所不同,24℃ 时变态率与存活率的变化趋势一致,以盐度 31 的最高,但盐度 34 的幼虫不能变态;27℃、30℃ 时以 28 盐度组的最高,但与 31 盐度组无差异;温度升高到 33℃,变态率急剧下降,28 盐度组甚至不能正常变态。

存活率 1 和存活率 2 以 27℃-31、30℃-31 温盐度组较高,分别达 99.0%、90.7% 和 73.0%、51.37%。而 28、31 盐度下 27℃ 最适宜其变态,变态率分别为 81.8%、73.7%。

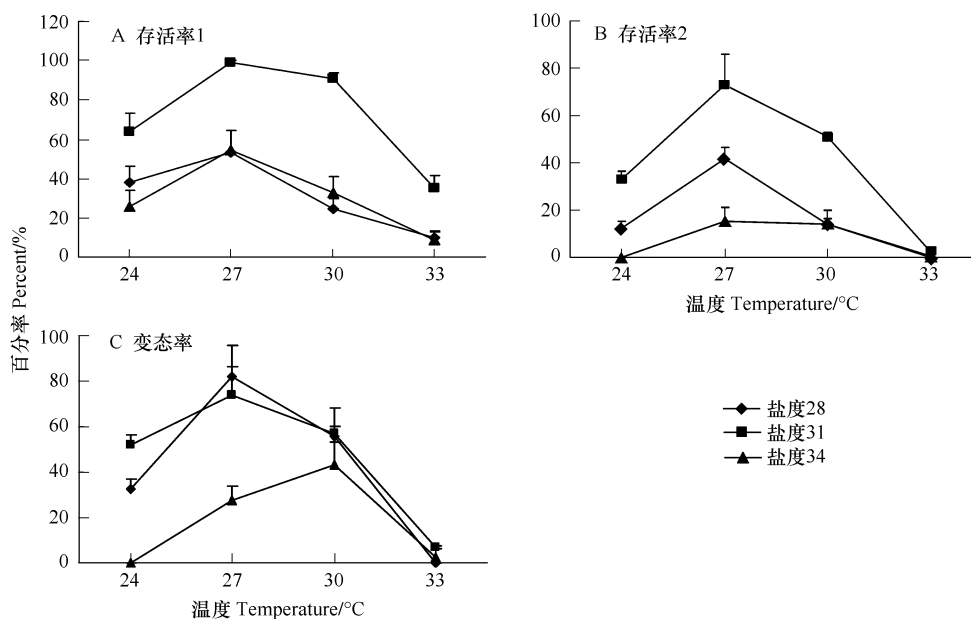


图2 温度盐度对龟足幼虫存活率和变态率的影响

Fig. 2 The effect of temperature and salinity on larval survival rate and metamorphosis rate of *C. mitella*

表4 在盐度固定下温度对龟足幼虫生长变态影响的方差分析和多重比较表

Table 4 One-way ANOVA and post hoc comparison test showing the effect of temperature on larval growth of *C. mitella* at fixed levels of salinity

盐度 Salinity	指标 Indexes	变异来源 Source	MS	F	比较结果 Tukey's results			
28	存活率 1	温度	448.5	20.2 **	24ab	27a	30bc	33c
		误差	22.2					
	存活率 2	温度	817.0	81.4 **	24a	27	33	30a
		误差	10.0					
31	存活率 1	温度	2314.3	50.5 **	24a	30ab	27b	33
		误差	45.8					
	变态率	温度	1387.8	78.9 **	24	27	33	30
		误差	17.6					
34	存活率 1	温度	1373.1	64.1 **	24a	27	30a	33
		误差	21.4					
	存活率 2	温度	1111.2	52.5 **	24a	27b	30ab	33
		误差	21.2					
34	存活率 1	温度	474.7	19.5 **	24a	27	30a	33
		误差	24.4					
	存活率 2	温度	461.8	33.0 **	24a	27	30b	33a
		误差	14.0					
34	存活率 1	温度	1195.7	27.1 **	24a	27b	30b	33a
		误差	32.2					

多重比较中标注同一字母的组别没有差异 ($P < 0.05$); * $P < 0.001$, * $P < 0.05$

3 讨论

3.1 试验温度、盐度的梯度设置

林岗等^[8]认为水温在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 时龟足胚胎发育的最适盐度范围在 21.38—28.55, 幼虫发育的最适盐度范围在 28.55—35.16 之间; 张殿彩等^[9]的研究显示盐度 27—28 时龟足胚胎发育的最适温度范围是 24—

33℃, 幼虫生长的最适温度范围是 24—30℃。本文继研究温、盐度单因子影响的基础上探讨温、盐度两者对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响, 目的在于科学合理地指导龟足人工育苗的生产实践。为此, 在设计温、盐度梯度时既考虑到胚胎和幼虫发育的适宜温、盐度范围, 同时也考虑到实际的生产因素。由于在龟足的繁殖季节, 福州海区的海水盐度一般在 27—31、水温在 24—29℃ 之间, 所以取 3 个盐度 28、31、34, 4 个温度 24、27、30、33℃ 作为试验设置梯度。

表 5 在温度固定下盐度对龟足幼虫生长变态影响的方差分析和多重比较表

Table 5 One-way ANOVA and post hoc comparison test showing the effect of salinity on larval growth of *C. mitella* at fixed levels of temperature

温度/℃ Temperature	指标 Indexes	变异来源 Source	MS	<i>F</i>	比较结果 Tukey's results		
24	存活率 1	盐度	393.2	14.9 *	28a	31	34a
		误差	26.3				
	存活率 2	盐度	919.5	227.2 **	28	31	34
		误差	4.1				
	变态率	盐度	1713.9	392.5 **	28	31	34
		误差	4.4				
27	存活率 1	盐度	1450.1	46.5 **	28a	31	34a
		误差	31.2				
	存活率 2	盐度	995.2	27.3 *	28	31	34
		误差	36.5				
	变态率	盐度	991.8	13.9 *	28a	31a	34
		误差	71.1				
30	存活率 1	盐度	1639.6	105.9 **	28a	31	34a
		误差	15.5				
	存活率 2	盐度	572.7	35.7 **	28a	31	34a
		误差	16.0				
	变态率	盐度	57.0	1.9	28a	31a	34a
		误差	30.0				
33	存活率 1	盐度	350.0	27.7 *	28a	31	34a
		误差	12.6				
	存活率 2	盐度	63.4	15.7 *	28a	31	34a
		误差	4.0				
	变态率	盐度	170.2	6.4 *	28a	31b	34ab
		误差	27.0				

多重比较中标注同一字母的组别没有差异 ($P < 0.05$); ** $P < 0.001$, * $P < 0.05$

3.2 试验指标的设置

龟足为雌雄同体、异体体内受精的动物, 产卵量平均为 24360 个, 自然条件下卵在外套腔受精并相互粘附成卵块, 受精卵在外套腔中发育直至孵化^[11]。试验中取自外套腔的卵块已经受精, 因此难以获得批量受精卵作为胚胎发育的起始材料。龟足的卵块圆形或卵圆形, 大小不同, 通常中间厚边缘薄, 同一卵块的发育速度不等, 在人工体外孵化过程中耗时不一, 因此, 试验中选用早期胚胎(原肠期)作为材料。同时为了减少材料本身遗传背景和发育时期不同对试验结果的影响, 同一组试验所用的材料均来自“米”字形分割的同一卵块, 以保证试验材料的相对一致性。

由于龟足卵块胚胎重叠, 数量难以精确统计, 同一卵块在体外孵化也存在不同步现象, 因此文中的胚胎发育时间是指原肠胚到孵化出无节幼虫所经历的最短时间, 而不采用通常达到 50%、100% 孵化率的时间作为标准来计算^[9]; 胚胎孵化率采用相对孵化率, 将孵出幼虫最多试验组的孵化率定为 100, 这是根据龟足繁殖特点决定的。无节幼虫持续时间指从 II 期无节幼虫发育至金星幼虫所需的最短时间, 因为 VI 期无节幼虫发育为金星幼虫达不到 100%, 同样不宜用达到 50%、100% 变态率的时间作为计算标准。

蔓足类的发育经历 6 期无节幼虫和不摄食的金星幼虫期。无节幼虫发育为金星幼虫其形态发生很大的

变化,为了强调无节幼虫和金星幼虫对温、盐度的反应,设置了存活率 1(发育至Ⅵ期无节幼虫)和存活率 2(发育至金星幼虫)两个存活指标,把Ⅵ期无节幼虫发育成金星幼虫的过程视为变态考虑。

3.3 温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合作用

虽然温度与盐度对龟足胚胎发育时间没有显著影响,但温度和盐度对胚胎孵化率有极显著影响,温度与盐度间的交互作用显著,在高温(33℃)高盐(34)时盐度温度的作用减弱。同样温度、盐度对龟足幼虫的生长有极显著影响,两者间对存活率和变态率的交互作用极显著。

有关温盐度对胚胎发育和幼虫生长的交互作用,不同的作者得出的结论有很大不同。王洪全^[7]等认为水温与盐度双因子对河蟹胚胎发育影响的交互作用不显著。梁玉波等^[12]的研究表明也表明二者组合对栉孔扇贝 *Chlamys farreri* 胚胎孵化的影响不显著,温、盐度组合对栉孔扇贝幼虫存活影响十分显著,对幼虫的生长影响不显著。Thiyagarajan^[6]认为温度与盐度对香港水域三角藤壶无节幼虫生长发育的影响存在协同作用。林瑞才等^[13]通过温度和盐度对海湾扇贝 *Argopecten irradian* 幼虫附着变态的影响研究,发现在不同盐度下,幼虫附着变态的适宜温度不同,反之亦然;但也有学者^[14]认为,只有温度和盐度或其中之一接近极限范围时,温度和盐度相结合才显示出明显的相互关系,反之,当温度或盐度处于安全范围时,则没有明显的关系。

龟足胚胎发育的适宜温度是 27℃、适宜盐度是 28;幼虫生长的适宜温度是 27℃、适宜盐度是 31;变态适宜温度是 27℃、适宜盐度是 28。说明龟足胚胎发育和幼虫生长对温盐度的敏感性不同。从图 1 和图 2 可以看出温盐度对胚胎孵化和幼虫生长发育的影响有很大差异,在不同的温盐度条件胚胎孵化率最高的达 100%,最低的为 52.1%;但存活率最高的达 99%,最低的则为 0。因此龟足幼虫比胚胎对外界因子更加敏感,这是由龟足的自身繁殖特点及生活环境决定的。

自然条件下龟足卵受精之后存于外套腔中发育直至孵化,成体分布于环境因子变化剧烈的暴露型岩岸潮间带,其抱卵亲体在退潮干露时要经受雨水冲刷和日晒后引起外套腔内卵块表面温度盐度的变化^[8],这样的繁殖特点和生活环境,使得龟足胚胎对温度和渗透压的调节能力很强。龟足幼虫自由生活在海水中,与生活在成体外套腔中的胚胎相比,幼虫生活的环境更加稳定、温度盐度变化的幅度更小。金星幼虫是幼虫浮游生活的最后阶段,与无节幼虫在形态、运动方式和生态习性上有明显差别^[9],金星幼虫需附着在中、高潮区的岩石缝隙中进一步变态为幼体进而发育为成体,金星幼虫对温盐度的耐受性提高。

结果表明龟足胚胎发育、无节幼虫的生长和变态对温度盐度的敏感性有所不同。龟足有着广阔的养殖前景,因此在人工育苗生产实践中,把握胚胎、无节幼虫和金星幼虫不同发育阶段对温度盐度的反应显得尤为重要。因此,在生产实践中除了调节温度和盐度的单因子条件外,还应该关注温、盐度对胚胎发育、幼虫生长及变态的联合作用。

References:

- [1] Liu R Y, Ren X Q. Fauna of China-Invertebrate Volume 24(Crustacea, Cirripedia, Thoracica). Beijing: Science Press, 2007: 82-85.
- [2] Chen N, Lin G, Rao X Z, Zhang D C. Analysis and evaluation on nutritive components of *Pollicipes mitella*. Journal of Tropical Oceanography, 2009, 26(6): 171-173.
- [3] Nasrolahi A, Farahani F, Saifabadi S. Effect of salinity on larval development and survival of the Caspian sea barnacle *Balanus improvisus* Darwin (1854). Journal of Biological Sciences, 2006, 6(6): 1103-1107.
- [4] Anil A C, Desai D, Khandeparker L. Larval development and metamorphosis in *Balanus amphitrite* Darwin (Cirripedia: Thoracica): significance of food concentration, temperature and nucleic acids. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2001, 263(2): 125-141.
- [5] Lewis C A. Some observation on factors affecting embryonic and larval growth of *Pollicipes polymerus* (Cirripedia: Lepodomorpha) in vitro. Marine Biology, 1975, 32(2): 127-139.
- [6] Thiyagarajan V, Harder T, Qian P Y. Combined effects of temperature and salinity on larval development and attachment of the subtidal barnacle *Balanus trigonus* Darwin. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2003, 287: 223-236.
- [7] Wang H Q, Li Z F. The alternate effects of water temperature and salinity on embryonic development of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 1996, 19(3): 63-66, 83.

- [8] Lin G, Xu Y Q, Rao X Z, Chen M X. The effects of salinity on embryonic and larval development of *Pollicipes mitella* in vitro. Journal of Fujian Teachers University: Natural Science Edition, 2002, 18(1): 76-78, 81.
- [9] Zhang D C, Rao X Z, Lin G, Lin X D, Chen N. The effect of temperature on embryonic and larval development of *Pollicipes mitella* Linnaeus. Journal of Fujian Teachers University: Natural Science Edition, 2009, 25(3): 94-100.
- [10] Qiu W R, Lin G, Qi Q Z. Development of *Pollicipes mitella* (Cirripedia: Scalpellidae) fertilization through hatched. Journal of Fujian Teachers University: Natural Science Edition, 1994, 10(1): 95-100.
- [11] Lin G, Qiu W R, Qi Q Z. Reproduce, attachment, growth of *Pollicipes mitella* from Fuzhou. Acta Oceanologica Sinica, 1994, 16(6): 108-115.
- [12] Liang Y B, Zhang F S. Effects of temperature/salinity on development of embryos and larvae of scallop *Chlamys farreri*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(4): 334-340.
- [13] Lin R C, Chen M. Effects of temperature and salinity on attachment and metamorphosis of bay scallop larvae. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1989, 8(1): 60-67.
- [14] Liu J Y, Zhou J H. Effects of temperature and salinity on embryos development of *Babylonia areolata*. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2005, 25(1): 1-4.

参考文献:

- [1] 刘瑞玉, 任先秋. 中国动物志-无脊椎动物第四十二卷(甲壳动物亚门, 蔓足下纲, 围胸总目). 北京: 科学出版社, 2007: 82-85.
- [2] 陈宁, 林岗, 饶小珍, 张殿彩. 龟足营养成分分析与评价. 热带海洋学报, 2009, 26(6): 171-173.
- [7] 王洪全, 黎志福. 水温、盐度双因子交互作用对河蟹胚胎发育的影响. 湖南师范大学自然科学学报, 1996, 19(3): 63-66, 83.
- [8] 林岗, 许友勤, 饶小珍, 陈木仙. 盐度对龟足胚胎及幼虫发育的影响. 福建师范大学学报(自然科学版), 2002, 18(1): 76-78, 81.
- [9] 张殿彩, 饶小珍, 林岗, 林小端, 陈宁. 温度对龟足胚胎发育和幼虫生长的影响. 福建师范大学学报(自然科学版), 2009, 25(3): 94-100.
- [10] 邱文仁, 林岗, 齐秋贞. 龟足的胚胎发育. 福建师范大学学报(自然科学版), 1994, 10(1): 95-100.
- [11] 林岗, 邱文仁, 齐秋贞. 福州沿海龟足的繁殖附着与生长. 海洋学报, 1994, 16(6): 108-115.
- [12] 梁玉波, 张福绥. 温度、盐度对栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)胚胎和幼虫的影响. 海洋与湖沼, 2008, 39(4): 334-340.
- [13] 林瑞才, 陈敏. 温度和盐度对海湾扇贝幼虫附着及变态的影响. 台湾海峡, 1989, 8(1): 60-67.
- [14] 刘建勇, 卓健辉. 温度和盐度对方斑东风螺胚胎发育的影响. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(1): 1-4.

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 30 卷 第 23 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 23 2010

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