

温度对锯缘青蟹幼体存活与发育的影响*

曾朝曙 李少菁

(厦门大学海洋学系, 厦门 361005)

提 要 锯缘青蟹幼体生长发育的适温范围为25—30℃。在此范围内, 随着幼体发育, 其生存最适温度逐渐上升。各期溞状幼体的发育均随温度的提高而加快, 从孵化至第一次变态, 30℃时平均发育时间比25℃时短6天。温度对溞状幼体的变态过程亦有明显影响, 水温大于或达到30℃时不利于变态的进行, 但变态后的大眼幼体对高温适应力增强, 35℃时仍可正常生长发育。不同批孵化的幼体在相同温度下存活与发育有明显差异。在对后期溞状幼体相对不适的25℃下, 溞状幼体发育期数变异的出现率较高。

关键词 锯缘青蟹, 幼体, 温度, 存活与发育, 变态

锯缘青蟹 [*Scylla serrata* (Forskål)], 俗称“锯”, 是我国重要的经济蟹类。主要分布在印度——太平洋的热带、亚热带海域, 其成体多栖息于红树林沼泽地、河口泥沙底质区及小港湾多岩礁浅海滩涂, 故在国外又有红树林蟹或泥蟹之俗称。近年来, 青蟹的增殖已引起各地的普遍重视和兴趣, 但是, 由于基础研究较为缺乏, 有许多技术问题亟待解决。作者在另文中⁽¹⁾介绍了国内外青蟹幼体的研究概况, 应用该专题研究成果, 本文取该体系列试验另一内容——温度对锯缘青蟹幼体存活与发育影响的研究结果。

材 料 与 方 法

1. 溞状幼体实验 实验幼体系驯养于实验小池的抱卵产卵所孵化的。实验进行两次: (1) 实验 A: 始于1986年6月21日, 实验温度为5℃, 10℃, 15℃, 20℃, 25℃, 28℃, 30℃和35℃(±0.5℃)。每温度下均设三个重复分组, 各20只幼体(培养于一盛有200ml 快速海水的水9cm 结晶皿内)。实验过程盐度26.0—28.0‰。(2) 实验 B: 始于1986年10月18日, 温度为18℃, 20℃, 25℃, 27℃, 30℃及35℃(±0.5℃)。各重复分组由25只幼体组成。实验过程盐度27.0—30.0‰。以上两次实验当实验温度与孵化池水温相差>5℃时, 实验开始时均以每2—4小时改变5℃的速率渐次升(降)温以防过剧温差对幼体造成损伤。据饵料实验结果⁽²⁾, 溞I、溞II期幼体投喂褶皱臂尾轮虫(*Brachionous plicatilis*) (60只/ml), 溞III起换投蚤虫(*Artemia* sp.)无节幼体(10只/ml)。各项实验逐日换水、换饵并记录死亡及蜕皮情况。

2. 变态及大眼幼体实验 为防止大眼幼体的相互残杀, 溞状幼体一经变态为大眼幼体即单独饲养于

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿年月: 1991年7月; 1992年3月修改。

(1) 曾朝曙, 李少菁, 1992. 锯缘青蟹幼体实验生态研究. I. 饵料对幼体存活与发育的影响. 厦门大学学报(第3辑), 中国甲壳动物学会编印。

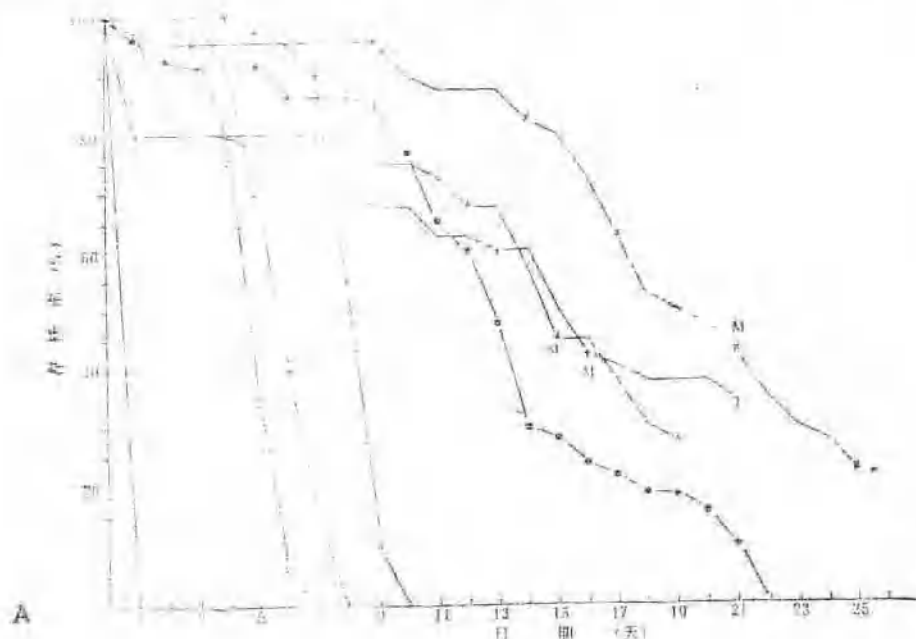
将幼体置于20℃水中并添加足量肉虫培养,同时记录其存活与发育情况。将处于蜕皮期的即将变态的Ⅲ期幼体及刚变态的大眼幼体分置于20℃和25℃水中,记录其在不同温度下的变态成功率及变态后大眼幼体的存活与发育。

3. 数据的分析与整理 蜕状阶段存活率以存活进入各发育期的幼体数占实验开始时Ⅲ期幼体总数的百分比。蜕状阶段总存活率(蜕_总)则为自蜕_v和自蜕_{v1}成功变态进入大眼幼体阶段的百分比。蜕皮期以蜕皮开始至发育天数及各发育期长(蜕皮间期)表示。各实验组蜕皮期发育天数按正态分布(或按反正弦转换),若显著($P < 0.05$),再以邓肯氏新复极差法进行显著性检验。

结 果

(一) 温度对蚤状幼体存活与发育的影响

1. 蚤状幼体对极限温度的忍耐度 高温 35℃下,实验A(第一次实验)尽管第1天幼体表现尚正常,次日却全部死亡(图1A,图中注有M处为大眼幼体开始出现之时,该图未包括大眼幼体出现后的情况)。为避免因温差过剧引起的幼体死亡,实验B(第二次实验)将大批刚孵化的幼体置于20℃中培养12小时后从中选取健康个体进行实验(轮虫饵料亦先在25℃中培养,结果虽第2天仍有90%的幼体死亡,最后虽有1只幼体于第二天变态进入大眼幼体阶段,但第3天即死亡)(图1B,图1B中27℃实验组在实验进行至第13天时恒温设备故障,未能及时将幼体全部死亡)。可见,初步认为35℃是刚孵化后蚤状幼体存活的温度上限。在低温方面,温度 $\leq 20^\circ\text{C}$,Ⅲ期幼体的死亡率也很高(表



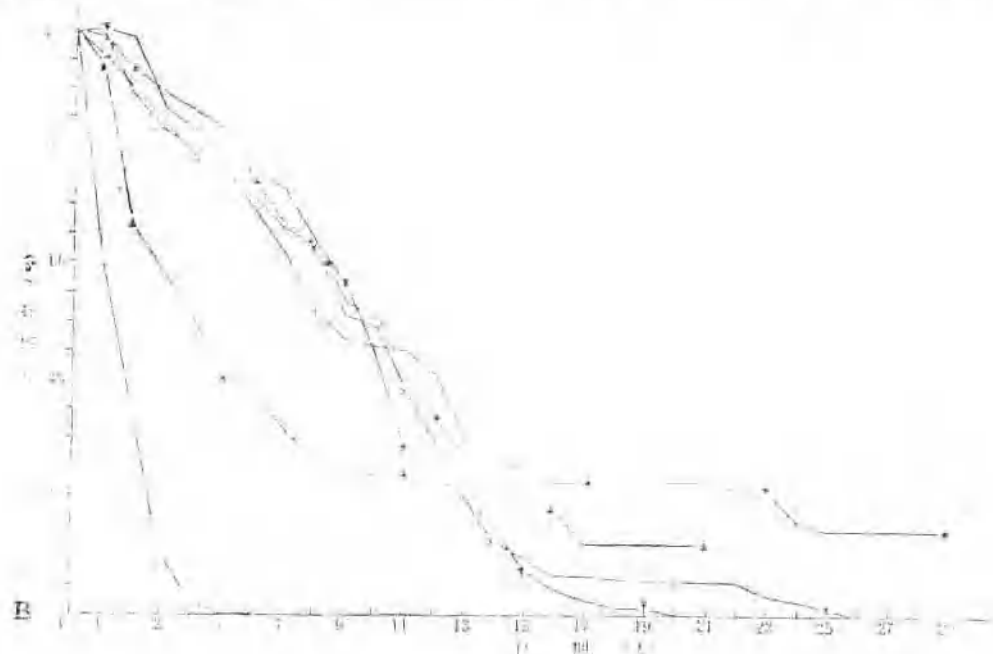


图1 不同温度下青蟹稚状阶段幼体日存活率

Fig. 1 *Scylla serrata*: Daily survivorship for zoeal larvae reared under different constant temperatures

△——△——5°C ▽——▽——10°C ●——●——20°C
 ×——×——25°C +——+——27°C ▲——▲——30°C
 ○——○——35°C

与高温下不同的是在低温下前几天幼体极少死亡(图1),且其平均存活时间明显较

Table 1 *Scylla serrata*: Cumulative percentage survival of each zoeal instars for larvae reared under different temperatures

幼虫发育阶段 (天)	A								B					
	5	10	15	20	25	28	30	35	18	20	25	27	30	35
第I期	0	0	0	50.0	95.5	80.0	80.0	0	16.0	22.6	73.3	58.5	82.0	1.3
第II期				0	90.0	72.5	76.5		0	2.7	45.3	41.3	29.3	0
第III期					64.2	67.5	72.5			0	22.7	—	24.0	
第IV期					40.0	46.6	66.7				22.0		24.0	
第V期					22.5	34.0	27.5				13.4		10.7	
第VI期					2.5	—	—				4.0		1.3	
存活率					22.5	34.0	27.5				14.7		12.0	

注: 27°C实验组在实验进行至第18天时控温设备故障,水温升至50°C,导致该组幼体全部死亡。

常温下, 其中 18°C 及 20°C 下, 期幼体最长可存活 16 天, 蚤 II 期幼体累计则可达 26 天 (表 2)。据实验观察, 18°C 及 20°C 下幼体的趋光及运动能力基本保持正常, 但体色明显变

暗, 并随水温下降而加剧, 第一期发育为第二期 (累计) 幼体存活时间

Table 2. Mean and maximal survival days for zoea I and zoea II cumulative larvae exposed to upper and lower extreme temperatures

Temperature (°C)	No. of larvae	A			B		
		18	20	22	18	20	22
Zoea I survival days	4	16	16	16	16	16	16
Zoea II survival days	8	16	16	16	16	16	16
Zoea I + II survival days		32	32	32	32	32	32
Zoea I + II survival days		32	32	32	32	32	32

浅。而在 15°C、10°C 及 5°C 下, 幼体存活 2—5 天内幼体几乎无死亡 (图 1A), 但最终无一幼体能蜕皮进入蚤 II 期 (表 1)。其中除 15°C 下幼体在初置于该温度下的前 2—3 天内尚具有一定的趋光性及异于常温的间断式游动能力外, 其他情况下幼体均沉于容器底部, 几乎不游动, 趋光能力也已丧失, 但镜检时却仍可见其附肢的打动及内脏的蠕动, 说明它们尚未死亡。在 3°C 及 1°C 下, 若有所谓 2 天把环境温度提高至 15°C 以上, 幼体尚能恢复其游泳能力, 第 3 天后则不能恢复。

18°C 及 20°C 下, 虽有一定比例的蚤 II 期幼体发育进入蚤 III 期, 但其存活率显著低于 22°C (0.05 或 7.0, 0.01) 其他温度下 (表 1)。同时发育时间明显延长, 20°C 下, 蚤 II 期幼体蜕皮进入蚤 III 期的时间比 22°C 下延长 5 天左右 (图 1B)。进入蚤 III 期后, 幼体在 20°C 下, 第一次蜕皮 20°C 下, 期幼体尚能存 50% 进入蚤 III 期, 但蚤 III 期幼体却无一能进入蚤 IV 期 (表 1A)。第二次实验 18°C 及 20°C 同被实验组中也仅是 20°C 下有 2 只蚤 III 期幼体蜕皮进入蚤 IV 期, 但最终也都于蚤 III 期死亡 (表 1B)。以上结果表明随着蟹蚤状幼体的发育, 其对低温的适应力下降, 适温范围趋向上升。

2. 适温条件下的存活与发育 总的说来, 在 25—30°C 各恒温下, 青蟹幼体均能发育变态进入大眼幼体期 (表 1)。对 I 期幼体, 存活率趋势为: 25°C 最高, 27°C 次之, 28°C、30°C 较低 (表 1)。统计表明两次实验 25°C 下蚤 I 期幼体存活率均显著高于其他温度组 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$), 说明 25°C 可能是蚤 I 期幼体的最适生存温度。同时统计还显示 27°C 与 30°C 组间存活率差异亦为显性 ($P < 0.01$)。进一步考察蚤 II 期后的存活状况, 则可发现情况明显不同, 25°C 下幼体死亡率大幅度上升, 死亡大量出现于蚤 II 期 (表 1A、B), 甚至蚤 III 期 (表 1B), 而 28°C (27°C) 及 30°C 实验组死亡率却较低 (表 1)。这表明随着蟹幼体的发育, 它们要求的最适生存温度可能是渐趋上升的。由表 1 还可以发现 35°C 下, 两次实验蚤 II 期后幼体死亡率都很低, 但至蚤 III 期却显著上升, 该期内幼体死亡率竟达 50% 以上 (表 1)。据实验观察, 30°C 下, 期幼体的死亡多发生于临近变态时, 不少幼体是在蜕皮进行至一半时死亡的。这表明虽然青蟹后期幼体要求较高温度, 但在变态期间却可能需要稍低的温度。最后以蟹状幼体最终存活率看, 各恒温条件下成功变态进入大眼阶段的幼体比例 28°C 略高于 30°C、35°C (又稍低于 25°C) (表 1), 但统计表明这种差异不具统计

表 3 不同温度下锯缘青蟹幼体发育时间(天数)
Table 3 *Scylla serrata* Durations of each zoeal instar in relation to temperature (days)

发育期		温度/℃									
		20	25	28	30	35	40	45	47	49	55
卵	平均	10.2±0.6 (9-13)	4.5±0.0 (4-5)	4.1±0.5 (3-6)	3.4±1.2 (3-5)	10.6±0.2 (10-12)	5.0±0.1 (4-10)	4.6±0.6 (4-10)	4.7±0.2 (4-8)	3.1±0.2 (3-5)	3
	本组		4.2±0.1	2.7±0.2	2.5±0.2	—	—	4.1±0.2	3.1±0.2	—	
幼虫	累计		8.5±0.0 (7-12)	6.7±0.3 (5-7)	5.9±1.4 (5-8)	21.5 (21-22)	9.0±0.2 (8-11)	5.7±0.3 (5-13)	7.0±0.1 (7-9)	—	
	平均		4.2±0.1	3.7±0.6	3.6±1.4	—	4.1±0.5 (3-11)	—	3.5±0.1	—	
蛹	累计		12.6±0.2 (11-14)	10.4±0.2 (9-13)	9.5±0.1 (8-12)	—	12.1±0.3 (10-14)	—	11.1±0.2 (10-14)	—	
	平均		4.8±0.0	3.7±0.1	3.4±0.0	—	7.0±0.2	—	3.8±0.1	—	
滞育期	累计		17.4±0.1 (15-20)	14.1±0.2 (12-17)	13.3±0.1 (11-17)	—	15.0±0.3 (13-19)	—	14.7±0.2 (13-19)	—	
	平均		6.1±0.1	4.2±0.2	3.6±0.5	—	6.0±0.2	—	8.0±0.0	—	
滞育期+滞育期	累计		22.5±0.1 (21-24)	18.2±0.1 (16-21)	16.5±0.3 (15-21)	—	20.0±0.2 (18-22)	—	17.0±0.1 (15-21)	—	
	平均		23	—	—	—	—	—	—	—	
滞育期+滞育期+滞育期	累计		—	—	—	—	—	—	—	—	
	平均		—	—	—	—	—	—	—	—	

注:括号内数字表示该发育期幼体在20-40°C范围内的出现数。

显性($P < 0.05$)。

与发育程度不同幼体发育速度表现出一致的随温度提高而加快的趋势(表3)。虽然25—30°C组间发育速度差异(表3)与20—25°C相比(>5 天)并不大,但统计表明25°C与30°C间发育速度差异是显著的($P < 0.05$)。从整个溞状幼体阶段发育所需时间看,25°C下要比20°C下多5—7天(表3)。统计显示,25°C下溞前期及以后各期幼体的累计发育时间与28°C及30°C组间的差异均是显著的($P < 0.01$)。同时28°C与30°C组间的差异也是显著的($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。27°C下虽然至溞前期的累计发育时间要比25°C短,但差异不显著($P > 0.05$)。

值得指出的是,不同批次(不同日期)的幼体在相同的温度下存活率与发育率也有较大差别(表1、3、图1)。此外,个别幼体发育期数变异(即出现“额外”增加的溞前期幼体)现象,其中变异出最多者达25%—30%(表1)。

(二) 温度对溞状幼体发育及大眼幼体存活与发育的影响

将在27°C下批量培养的临近变态期幼体分置于不同温度下观察温度对变态的影响。结果表明,在20—27°C,幼体变态成功率均很高,30°C下稍低,35°C下则无一实验幼体成功变态(表4)。据观察,30°C下死亡幼体中有半数以上是在蜕皮中途(已蜕出一

表4 温度对临变态期幼体的变态及变态后大眼幼体存活与发育的影响

Table 4. *Scylla serrata*: Effects of temperature on zoeal metamorphosis and survival and development of megalopa in relation to temperature

温度(°C)	20	25	27	30	35
溞前期数	12	12	12	12	8
变态成功(%)	100	100	100	83.3	0
大眼幼体数	12	12	12	11	7
存活率(%)	8.3	25.0	41.7	36.4	57.1
平均发育时间 (天)	25	12.0±1.7 (10—14)	8.5±0.6 (8—9)	8.7±2.2 (7—12)	6.5±1.0 (6—8)

半)死亡的。在溞状幼体温度实验中,30°C下也有类似情况出现,据此,可以认为30°C及更高的温度不宜于有短溞状幼体的变态。实际上,在对幼体生存明显不适的20°C低温下幼体变态却不受影响从另一方面说明了变态期间幼体倾向要求较低温度。但是变态后的无眼幼体情况则相反,35°C下存活率较高,而20°C下尽管在刚变态的前2—3天内幼体极少死亡(常温特别是较高温度下大眼幼体死亡多出现于此期间),但最终仅1只幼体在历时长达22天后才蜕皮变态为稚蟹(表4)。以上情况表明变态后大眼幼体对高温适应力增强,低温则不利其生长发育。表4还表明大眼幼体的发育也是随温度的提高而加快的,温度从25°C升至35°C,平均发育时间由12天渐次降至6.5天。

表5为溞状幼体温度试验中各温度组幼体进入大眼阶段后在原温度下的培养结果。比较不同批次实验(表4、5A、B),虽在相同温度下不同批幼体的发育时间均不相同,但都表现出一致的随温度提高而缩短的趋势。至于存活率结果的不尽一致则可能与各次试

表 5 不同恒温下蚤状幼体变态成大眼幼体后在原温度下的存活与发育
Table 5 *Scylla serrata*: Survival and development of megalopa larvae in relation to temperature

温度 (°C)	25	28	30	25	30
大眼幼体数	8	20	12	10	9
存活率(%)	75.0	55.0	0	20.0	44.4
平均发育时间 范围(天数)	10.2±1.2 (9—12)	7.1±1.6 (6—8)	—	10.0±2.0 (10—14)	8.7±0.9 (8—11)

实验幼体数较少及季节性等因素有关。

讨 论

(1) 实验表明, 25—30°C 是青蟹幼体正常生长发育的适宜温度, 这与厦门及邻近海区青蟹幼体大量出现季节的温度情况相吻合, 也与台湾的陈弘成、郑金华^[1]的实验结果基本一致(26—30°C)。值得提出的是, 温度低于 20°C 或高于 30°C, 幼体不能正常发育变态, 这是人工育苗实践中应予注意的。从已有的青蟹幼体培养报道看, 马来西亚的 Ong^[10]采用的培养温度为 24.3—31.5°C, 美国夏威夷的 Brick^[11]为 21—23°C, 南非的 Duplessis^[2]为 23—25°C, 澳大利亚的 Heasman & Fielder^[8]和台湾的陈弘成、郑金华^[1]分别为 27°C 及 26—28°C, 显然, 这些培养温度都落在我们提出的青蟹幼体培养温度上、下限内。

(2) 青蟹不同发育期幼体要求的最适生存温度有所不同, 蚤状幼体在 25°C 下存活率最高且对低温忍耐力较强, 以后随幼体发育最适生存温度渐趋上升(表 1), 这一趋势实际上正与自然海区每年繁殖高峰开始出现时水温起始较低, 随即逐渐上升的情况相吻合。台湾的陈弘成与郑金华^[1]进行的温度试验(设 22°C, 26°C, 30°C 三温度组, 每组两个重复分组)只报道蚤状幼体阶段的总存活率及总发育时间, 对各期幼体的存活与发育则未作报道。

(3) 青蟹蚤状幼体变态期间要求较低温度, 陈弘成、郑金华^[1]报道中虽没有指出这一点, 但在其实验结果中, 盐度 20—30‰ 间, 26°C 下幼体变态成功率也都显著高于 30°C 实验组 ($P < 0.05$)。尽管这方面的机制尚待进一步研究, 但我们在实验室内实验及室外小规模培养中观察到的临变态的蚤状幼体多沉入底层及变态多发生在水温较低的深夜至凌晨间可能正说明了临近变态时青蟹幼体自身对较低温度的选择。

(4) 温度低于或达到 20°C, 尽管蚤状幼体及大眼幼体最终存活率都很低, 但在刚孵化或变态后的前 2—3 天内却极少死亡, 而在较高温度下, 特别是 30°C 下, 在此期间幼体却大量死亡(图 1), 这种似乎反常的现象的出现可能与温度较低时幼体较迟发育至蜕皮

(2) Duplessis, A., 1971, A preliminary investigation into the morphological characteristics, feeding, growth, reproduction and larval rearing of *Scylla serrata* Forskål (Decapoda: Portunidae) held in captivity. Fisheries Development Corporation of South Africa. Unpublished manuscript. 24pp.

周期中的危险点“D. 阈”^[10,11]及低温下幼体来自卵黄或变态前的营养贮存消耗较慢有关。H. H. 曾在不予投饵的情况下观察不同温度下刚孵化的蚤期幼体在 24 小时内的存活状态, 其结果是 13—25°C 下存活率高于 25—30°C。

最近国内, 李局等对青蟹幼体即稚蟹相同的环境条件下存活率与发育率也有类似研究, 这些现象在蟹苗和蟹种实验中遇到并作了一些讨论^[12], 在温度试验中出现类似情况, 说明了其存在的普遍性。同时温度试验中也出现了蚤状幼体发育期数变异现象, 值得注意。变异出现率在对于后期蚤状幼体不适偏低的 25°C 下最高 (表 1)。联系到饵料不足情况, 系出现于饵料供应不足的实验组^[12], 说明可能正是不适宜的环境条件诱发了变异。在青蟹的模型 *Callinectes zeylanicus* 阿曼褐虾 (*C. allmanni*)^[13], 小长臂虾 *Palaemonetes indonensis* 和美洲对虾 (*Litopenaeus setiferus*)^[14] 的幼体培养中也有类似现象。

综上所述, 温度对蟹幼体发育和生长有很大影响。显然, 在育苗生产实践中必须综合考虑这两方面因素。在稚蟹尚有耐旱前提下也要力求加快发育速度以缩短培养周期, 减少人力、物力的消耗。根据这一原则, 我们认为青蟹幼体培养中温度的较佳选择应为: 蚤期幼体 25—26°C, 蚤 II 期后可将培养温度逐渐升至 30°C 左右, 临近变态时则应适当降低温度至 28—29°C。幼体经蚤为太眼幼体后则可取 27°C 以上以至 35°C 的温度培养。

参 考 文 献

- [1] 李局等, 1983。青蟹幼体在不同盐度下的存活和发育。《水产学报》, 7(2): 70—75。
- [2] 李局等, 1984。青蟹幼体在不同盐度下的存活和发育。《水产学报》, 8(2): 75—80。
- [3] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [4] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [5] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [6] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [7] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [8] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [9] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [10] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [11] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [12] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [13] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。
- [14] 李局等, 1985。影响青蟹幼体发育周期和变态的因子及形态发生。《水产学报》, 9(2): 75—80。

EFFECTS OF TEMPERATURE ON SURVIVAL AND DEVELOPMENT OF THE LARVAE OF *SCYLLA SERRATA*

Zeng Chaoshu and Li Shaoqing

(Department of Oceanography, Xiamen University, 361005)

ABSTRACT The experiments on effects of temperature on larval survival and development of *Scylla serrata* were conducted by laboratory rearing larvae from hatching to first juvenile crab stage under a set of constant temperatures (5°C–35°C). The results showed that 25–30°C were optimum for zoea. When temperature was 20°C, the zoea-1 could survive as long as 16 days; in the meanwhile temperature was $\geq 35^\circ\text{C}$, no larvae could survive more than 5 days, mass mortality was found in above both cases, and at 35°C, no larvae could molt into zoea-3; at 18 and 20°C, all larvae died within zoea-3. The zoea-1 was more tolerant to lower temperatures ($\leq 20^\circ\text{C}$) than successive stages and the survival rate for zoea-1 was highest at 25°C, but after zoea-1, the mortality rates were relatively lower at 28°C and 30°C. From hatching to metamorphosis finished, the duration of mean development at 30°C was only 17 days, whereas it was 23 days at 25°C.

Metamorphosis from zoea to megalopa was adversely affected when temperature was $\geq 30^\circ\text{C}$, whereas successful metamorphosis was observed at 20–27°C. However, after metamorphosis, data show that megalopa is more tolerant to higher temperatures than zoea. At 35°C, no adverse effect on larvae survival was found while the duration of megalopa was greatly shortened (at 35°C, 6–8 days; at 20°C, 22 days). Higher rate of "extra instar" (zoea-6) appeared at 25°C which is suboptimal for later zoeal instars.

KEYWORDS *Scylla serrata*, larvae, temperature, survival and development, metamorphosis