

墨西哥湾扇贝高起始致死温度的研究

刘志刚¹, 王辉¹, 栗志民¹, 郑云龙²

(1. 广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025; 2. 湛江银浪海洋生物技术有限公司, 广东 湛江 524022)

摘要:于2004、2005年2个年度采用电子恒温控制装置(精度 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)研究北部湾海域养殖墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus* Say)对高温的耐受性,以期为该贝在南方海域的养殖提供依据。样品规格设稚、小、中、大4种,平均壳高分别为0.52 cm、1.83 cm、3.13 cm、5.01 cm。实验温度梯度 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,范围 $31.0\sim 34.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。实验前各温度组从常温状态按 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/4\text{ h}$ 的速率先后升温至各预设温度;把高温敏感起始点(Upper sensitive incipient temperature)定义为采用Duncan法多重比较结果显示与常温对照组存活率有显著差异($P<0.05$)的高温端最低温度(记为USIT);把高起始致死温度(Upper incipient lethal temperature)定义为高温端168 h内导致各规格贝50%死亡的温度(记为168 h UILT₅₀)。研究表明,稚、小、中、大4种规格贝的168 h UILT₅₀分别为 $(32.40\pm 0.01)^{\circ}\text{C}$ 、 $(32.67\pm 0.01)^{\circ}\text{C}$ 、 $(32.71\pm 0.01)^{\circ}\text{C}$ 、 $(32.08\pm 0.02)^{\circ}\text{C}$,不同规格的墨西哥湾扇贝对高温的耐受性存在显著性差异($P<0.05$),耐受性排列为小贝=中贝>稚贝>大贝。实验期间,未经历产精排卵的大贝,其168 h UILT₅₀为 $(32.41\pm 0.02)^{\circ}\text{C}$,经历产精排卵的大贝则下降为 $(31.73\pm 0.02)^{\circ}\text{C}$,两者对高温的耐受性也存在显著性差异($P<0.05$);稚贝与大贝的USIT均为 $31.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,而小、中贝则为 $32.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,进一步说明稚贝与大贝高温耐受性比小、中贝低。研究结果肯定了北部湾6 m以上水深海域夏天养殖该贝的安全性,也为墨西哥湾扇贝养殖场合适度的评价提供依据。[中国水产科学,2007,14(5):778-785]

关键词:墨西哥湾扇贝;高温敏感起始点;高起始致死温度;北部湾

中图分类号:Q959.215

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2007)05-0778-08

墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus* Say)原产于美国大西洋沿岸,北自新泽西州南至佛罗里达州均有分布^[1],是海湾扇贝(*A. irradians* Lamarck)的一个亚种。由于其分布比后者偏南,更适合于南方海域生长,且其双壳比后者更膨凸,肉柱得率比后者更高^[2],因此由中国科学院海洋研究所于1991年12月将其引进中国进行试养,并重点在南方海域进行推广。广东海洋大学等单位在北部湾经过5年研究及推广,取得大面积养殖的成功^[3],截止2006年8月,累计推广面积达7 380 hm²,目前发展势头迅猛。然而,在养殖过程发现成品贝在夏天高温期有较高的死亡率,尤其是刚产完精卵的成品贝。这种死亡是否与生命周期步入衰老期有关或与高温伤害有关,需要通过实验研究加以验证。因此,研究该贝不同生活阶段及产精排卵后对高温的忍耐极限对考察北部湾海域高温期养殖该贝的安全性,并为养殖海区选择和生产季节安排提供科学依据具有重要的指导意义。有关墨西哥湾扇贝的适温性研究,杨红生等^[4]研究了温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及

排泄率的影响;何义朝等^[5]研究了温度对墨西哥湾扇贝胚胎和幼虫发育的影响;尤仲杰等^[6]研究了温度对墨西哥湾扇贝幼虫和稚贝生长与存活的影响;Tettelbach等^[7]研究了温度和盐度对海湾扇贝亚种(*A. irradians irradians*)胚胎和幼虫的复合影响。但对墨西哥湾扇贝养殖过程不同生活阶段及产精排卵后对高温耐受性的研究目前尚未见报道。因此,本研究对养成期稚、小、中、大4种规格墨西哥湾扇贝的高温生存极限进行了实验探讨,以期为该贝在温暖的南方海域的进一步推广及生态研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

4种规格墨西哥湾扇贝于2004年4月28日、2005年5月10日各取自湛江银浪海洋生物技术有限公司遂溪县江洪镇扇贝养殖示范基地4批不同育苗时期的贝。把贝壳上附着物清除干净后置实验室水池单层网笼中按 $5.2\text{ kg}/\text{m}^3$ 密度(相当于成品贝 $200\text{ ind}/\text{m}^3$)充气暂养1周,以适应试验环境。暂养

收稿日期:2007-03-12; 修订日期:2007-06-25.

基金项目:广东省科技厅资助项目(2001c2085;2005B26001079).

作者简介:刘志刚(1963-),男,副教授,从事贝类生态、育种、养殖研究;Tel:0759-2230818;E-mail:liuzg@gdou.edu.cn

期间,每天投饵6次,保持水中扁藻 $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4$ cell/mL、角毛藻 $3 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4$ cell/mL或金藻 $5 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$ cell/mL。暂养过程水温 $26.7 \sim 28.9$ °C(2004年)、 $27.5 \sim 29.0$ °C(2005年),每天全换水1次,同时拣去死贝,换水温差小于 0.5 °C。暂养后在4个规格中挑选健康、活力正常、贝壳完整、无病虫害的个体作实验用贝。每个规格随机抽样50个个体统计平均壳长 $\pm$ 标准差($\bar{X} \pm SD$),测得2个年度4个规格的扇贝壳长分别为稚贝(0.52 ± 0.05) cm、小贝(1.83 ± 0.07) cm、中贝(3.13 ± 0.11) cm、大贝(5.01 ± 0.21) cm。

实验用海水经砂滤,pH $8.1 \sim 8.4$ 、盐度 $29.3 \sim 31.5$,水质符合渔业用水标准。

1.2 方法

1.2.1 控温装置 每个控温装置由350 L白塑料方桶、500 W石英加热管、1 000 W电子继电器、 $0 \sim -50$ °C水银触点温度计(± 0.1 °C)、气石等各1件组成,整套装置控温精度为 ± 0.1 °C,所有温度计均经过严格校正。

1.2.2 实验分组 设 31.0 °C、 31.5 °C、 32 °C、 32.5 °C、 33 °C、 33.5 °C、 34 °C等7个高温试验组和1个常温对照组(2个年度实验期间水温变化在 $26.8 \sim 29.3$ °C内),每年度各温度组均设2个平行,每个平行组使用1套控温装置,每装置加过滤海水330 L,4种规格养于同一桶内,每规格各50个(大贝为60个),大、中、小贝分别采用网孔 1.0 cm的大、中、小3种规格的单层平底方形网笼吊养,稚贝则用上述小规格笼外加一层20目网布包裹,放养密度约 1.9 kg/桶(相当于 5.8 kg/m³)。为了考察大贝繁殖前后对高温耐受性的差异,每年度60个大贝中性腺成熟的占50%,其余的为正在发育但未成熟的贝。

1.2.3 温度渐变 为减少温度剧变可能对实验贝造成的生理伤害,把实验贝从 $26.7 \sim 28.1$ °C的常温海水中取出并放进尚未升温的各实验组,然后按 1 °C/4 h的速率先后升温使同时到达各预设温度。实验周期11 d,2004年从5月6日15:00至17日15:00,2005年从5月18日12:00至29日12:00。

1.2.4 日常管理 实验期间,保持微沸腾状充气,使 $DO > 6.0$ mg/L;每天中午吸污同时等温换水50%;每天投饵6次,保持水中扁藻 $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4$ cell/mL、角毛藻 $3 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4$ cell/mL或金藻 $5 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$ cell/mL,投饵前饵料经等温预热;及时拣去死

贝,防止水质污染,并做好死亡时间及数量的记录统计;24 h值班,发现大贝产放时,及时将其取出并取出该桶部分水放于另桶产放,产完精卵后放回原笼并用20目网布包裹以观察产放后的死亡情况,另取等温新鲜水补充用去的水。实验过程若实验桶已被大量精卵或死贝污染,则及时予以等温换水。

1.2.5 观察指标和高起始致死温度的界定 观察指标为死亡率。死亡的判断标准为贝壳失去开闭壳能力,针刺外套膜缘触手及闭壳肌均无反应,放回常温水不能恢复。实际存活率及相对存活率的计算:实际存活率(R_s) = (实验结束存活数/实验开始总数) $\times 100\%$; 相对存活率(P) = (实际存活率/对照组存活率) $\times 100\%$ 。高温敏感起始点(Upper sensitive incipient temperature)的界定:采用Duncan法多重比较结果显示存活率与常温对照组有显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)差异的高温端最低温度。高起始致死温度的界定:本研究在实验7 d(168 h)后、第8天至第11天期间各组实验贝均无继续发生死亡,因此把168 h作为考察高温致死的时间,以高温端168 h内导致各种贝50%致死的温度作为高起始致死温度^[8](Upper incipient lethal temperature, 168 h UILT₅₀),也称为生存温度上限(Upper limit of survival temperature)。其求法采用二点法,公式为 $168 \text{ h UILT}_{50} = T_1 + [(P_1 - 50\%) / (P_1 - P_2)] \times (T_2 - T_1)$,其中 T_1 、 T_2 分别为存活率接近50%的低、高端温度, P_1 、 P_2 为相应的相对存活率。

1.3 数据统计分析

实验数据采用平均值 $\pm$ 标准误($\bar{X} \pm SE$)表示。使用SPSS(13.0)统计软件对数据进行处理,检验温度效应的存在与否采用方差分析(ANOVA),温度效应间的显著性差异采用Duncan法多重比较。

2 结果与分析

2.1 墨西哥湾扇贝稚贝的高温耐受性

由表1可见,死亡主要集中在前3天,第4天后逐渐趋于稳定,7 d后不再出现死亡;方差分析表明存在温度效应,而且极显著($P < 0.01$);Duncan法多重比较显示, 31.5 °C组与常温和 31.0 °C组相比已出现极显著高温致死效应($P < 0.01$),因此, 31.5 °C为稚贝高温敏感起始点;稚贝在 32.0 °C时相对存活率为(79.1 ± 1.0)%, 32.5 °C时为(42.4 ± 1.7)%,求得168 h UILT₅₀为(32.40 ± 0.014) °C。

表1 不同温度下稚贝的死亡数量及存活率

Tab.1 Daily deaths and survival rate of juveniles under different temperatures

时间或项目 Time or item	温度/℃ Temperature							常温 Natural temperature
	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	
第1天 1 st day	0.75	1.75	2.25	7.0	18.25	27.25	44.25	0
第2天 2 nd day	1.5	2.5	6.0	14.5	22.25	21.25	5.75	0.75
第3天 3 rd day	0.5	1.25	1.25	4.25	8.75	1.5	0	0.75
第4天 4 th day	0	0.25	1.5	2.0	0.75	0	0	0.5
第5天 5 th day	0	0	0.75	1.25	0	0	0	0.25
第6天 6 th day	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0
第7天 7 th day	0	0	0	0.25	0	0	0	0
第8~11天 8 th - 11 th day	0	0	0	0	0	0	0	0
累计死亡数 /nd Cumulative death	2.75	5.75	12.25	29.75	50	50	50	2.25
存活数 /nd Mean survivals	47.25 ±0.25	44.25 ±0.48	37.75 ±0.48	20.25 ±0.86	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	47.75 ±0.48
实际存活率 /% Actual survival rate	94.5 ±0.5	88.5 ±1.0	75.5 ±1.0	40.5 ±1.7	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	95.5 ±1.0
相对存活率 /% Relative survival rate	99.0 ^A ±0.5	92.7 ^B ±1.0	79.1 ^C ±1.0	42.4 ^D ±1.7	0.0 ^E ±0.0	0.0 ^E ±0.0	0.0 ^E ±0.0	100.0 ^A ±1.0

注: 上述数据中死亡数为2个年度4个平行组均值, 存活数为2个年度4个平行组的平均值±标准误; 常温为26.8~29.3℃. 同行数据右上角标有不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$), 标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同.

Note: Data of deaths listed in above table were arithmetic means of 4 repetitions within experimental groups in 2 years; survivals were arithmetic means (±SE) of 4 repetitions in 2 years; natural temperature means 26.8–29.3℃. Different uppercase or lowercase letters marked at the upper right corner in the same row denote significant statistical difference at the levels of 0.01 or 0.05 respectively. The same below.

2.2 墨西哥湾扇贝小贝的高温耐受性

由表2可见, 死亡主要集中在前3天, 第4天后逐渐趋于稳定, 7 d后不再出现死亡; 方差分析表明, 温度效应存在显著差异 ($P < 0.05$), Duncan法多重比较显示, 32.0℃组与常温、31.0℃及31.5℃组相

比已出现显著高温致死效应 ($P < 0.05$), 因此, 32.0℃为小贝高温敏感起始点; 小贝在32.5℃时相对存活率为 $(71.5 \pm 1.3)\%$, 33.0℃时为 $(6.2 \pm 0.8)\%$, 求得168 h UILT₅₀为 $(32.67 \pm 0.01)^\circ\text{C}$ 。

表2 不同温度下小贝死亡数量及存活率

Tab.2 Daily deaths and survival rate of small individuals under different temperatures

时间或项目 Time or item	温度/℃ Temperature							常温 Natural temperature
	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	
1 st d	0.5	0.75	1.5	4.0	14.25	23.25	38.25	0.25
2 nd d	1.25	1.25	1.5	5.5	21.5	24.75	11.75	0.25
3 rd d	0.5	0.5	1.25	2.0	8.0	2.0	0	0.75
4 th d	0	0	0.75	1.75	1.5	0	0	0.5
5 th d	0	0	0.25	1.0	1.25	0	0	0
6 th d	0	0	0	0.75	0.5	0	0	0
7 th d	0	0	0	0.5	0	0	0	0
8 th - 11 th d	0	0	0	0	0	0	0	0
累计死亡数 /nd Cumulative deaths	2.25	2.5	5.25	15.5	47.0	50	50	1.75
存活数 /nd Mean survivals	47.75 ±0.25	47.50 ±0.29	44.75 ±0.63	34.50 ±0.65	3.00 ±0.41	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	48.25 ±0.48
实际存活率 /% Actual survival rate	95.5 ±0.5	95.0 ±0.6	89.5 ±1.3	69.0 ±1.3	6.0 ±0.8	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	96.5 ±1.0
相对存活率 /% Relative survival rate	99.0 ^a ±0.5	98.4 ^a ±0.6	92.7 ^b ±1.3	71.5 ^c ±1.3	6.2 ^d ±0.8	0.0 ^e ±0.0	0.0 ^e ±0.0	100 ^a ±1.0

2.3 墨西哥湾扇贝中贝的高温耐受性

由表 3 可见,死亡主要集中在前 3 天,第 4 天后逐渐趋于稳定,7 天后不再出现死亡;方差分析表明,温度效应存在显著差异 ($P < 0.05$),Duncan 法多重比较显示,32.0 ℃ 组与常温、31.0 ℃ 及 31.5 ℃

组相比已出现显著高温致死效应 ($P < 0.05$),因此,32.0 ℃ 为中贝高温敏感起始点;中贝在 32.5 ℃ 时相对存活率为 $(77.3 \pm 1.3)\%$,33.0 ℃ 时为 $(11.9 \pm 1.3)\%$,求得 168 h UILT₅₀ 为 (32.71 ± 0.01) ℃。

表 3 不同温度下中贝死亡数量及存活率

Tab.3 Daily deaths and survival rate of middle individuals under different temperatures

时间或项目 Time or item	温度 / ℃ Temperature							常温 Natural temperature
	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	
1 st d	0.25	0.25	1.25	2.5	11.5	23.25	34.5	0
2 nd d	0.25	0.75	1.75	5.25	20.0	22.25	15.5	0.25
3 rd d	0.5	0.75	1.0	1.75	6.75	4.0	0	0.25
4 th d	0.5	0	0.25	1.25	4.25	0.5	0	0.75
5 th d	0	0	0	1.0	1.25	0	0	0.25
6 th d	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0
7 th d	0	0	0	0.5	0	0	0	0
8 th - 11 th d	0	0	0	0	0	0	0	0
累计死亡数 / and Cumulative deaths	1.5	1.75	4.25	12.5	44.25	50	50	1.5
存活数 / and Mean survivals	48.50 ±0.29	48.25 ±0.56	45.75 ±0.25	37.50 ±0.65	5.75 ±0.63	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	48.5 ±0.29
实际存活率 / % Actual survival rate	97.0 ±0.6	96.5 ±1.1	91.5 ±0.5	75.0 ±1.3	11.5 ±1.3	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	97.0 ±0.58
相对存活率 / % Relative survival rate	100 ^a ±0.6	99.5 ^a ±1.1	94.3 ^b ±0.5	77.3 ^c ±1.3	11.9 ^d ±1.3	0.0 ^e ±0.0	0.0 ^e ±0.0	100 ^a ±0.58

2.4 墨西哥湾扇贝大贝的高温耐受性

由表 4 可见,死亡主要集中在前 4 天,第 5 天后逐渐趋于稳定,7 天后不再出现死亡;方差分析表明,温度效应存在,而且极显著 ($P < 0.01$),Duncan 法多重比较显示,31.5 ℃ 组与常温、31.0 ℃ 组相比已出现极显著高温致死效应 ($P < 0.01$),因此,31.5 ℃ 为大贝高温敏感起始点;大贝在 32.0 ℃ 时相对存活率为 $(54.5 \pm 1.1)\%$,32.5 ℃ 时为 $(24.9 \pm 1.1)\%$,168 h UILT₅₀ 介于 32.0~32.5 ℃ 之间,求得 168 h UILT₅₀ 为 (32.08 ± 0.019) ℃。由表 4 还可见,实验期间产精放卵的大贝对高温的耐受性显著 ($P < 0.05$,表 5) 低于无产精放卵的大贝,如产放贝在 31.5 ℃ 时相对

存活率为 $(71.1 \pm 2.2)\%$,32.0 ℃ 时为 $(24.6 \pm 1.4)\%$,求得 168 h UILT₅₀ 为 (31.73 ± 0.024) ℃;非产放贝在 32.0 ℃ 时相对存活率为 $(83.2 \pm 1.6)\%$,32.5 ℃ 时为 $(42.8 \pm 1.5)\%$,求得 168 h UILT₅₀ 为 (32.41 ± 0.020) ℃。

2.5 不同规格及繁殖前后墨西哥湾扇贝 168 h UILT₅₀ 差异比较

由表 5 可见,不同规格及繁殖前后墨西哥湾扇贝 168 h UILT₅₀ 存在显著性差异 ($P < 0.05$),以中、小贝 168 h UILT₅₀ 最高,其次是稚贝和非产放大贝,最后是产放大贝。

表4 不同温度下大贝死亡数量及存活率

Tab.4 Daily deaths and survival rate of large individuals under varying temperatures

时间或项目 Time or item	温度 /℃ Temperature							常温 Natural temperature
	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	
1 st d								
2 nd d	0	0	1.25	2.75	20.5	26.25	19.75	0
3 rd d	0.5	1.25	5.5	23.25	21.75	12.0	0.5	0.25
4 th d	1.0	5.5	15.0	14.5	7.5	0.5	0	0.75
5 th d	0.75	3.75	4.75	2.0	2.25	0	0	0.25
6 th d	0.25	1.0	1.25	1.25	1.75	0	0	0.5
7 th d	0	0	0.5	0.5	0.25	0	0	0
8 th –11 th d	0	0	0	0	0	0	0	0
排放死亡数 /ind Death by gamete release	2.25	9.75	23.0	28.25	30.0	30.0	30.0	1.5
非排放死亡数 /ind Death not by gamete release	0.25	1.75	5.25	17.25	28.25	30.0	30.0	0.25
累计死亡数 /ind Cumulative deaths	2.5	11.5	28.25	45.5	58.25	60.0	60.0	1.75
存活数 /ind Mean survivals	57.50 ±0.5	48.5 ±0.65	31.75 ±0.63	14.50 ±0.65	1.75 ±0.48	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	58.25 ±0.25
实际存活率 /% Actual survival rate	95.8 ±0.9	80.8 ±1.1	52.9 ±1.1	24.2 ±1.1	2.9 ±0.8	0.0 ±0.0	0.0 ±0.0	97.1 ±0.4
相对存活率 /% Relative survival rate	98.7 ^A ±0.9	83.2 ^B ±1.1	54.5 ^C ±1.1	24.9 ^D ±1.1	3.0 ^E ±0.8	0.0 ^F ±0.0	0.0 ^F ±0.0	100 ^A ±0.4

表5 几种规格扇贝 168 h UILT₅₀的 Duncan 法多重比较结果Tab.5 Comparison of 168 h UILT₅₀ among different sizes of *A. i. coccinatus* Say by Duncan multiple comparison

项目 Item	中贝 Middle	小贝 Small	稚贝 Juvenile	非产放大贝 Nonreleasing large individuals	大贝平均 Means of large individuals	产放大贝 Releasing large individuals
168 h UILT ₅₀ /℃	32.71 ^a	32.67 ^a	32.40 ^b	32.41 ^b	32.08 ^c	31.73 ^d

3 讨论

3.1 不同规格及繁殖前后墨西哥湾扇贝高温耐受性的差异

研究结果表明,不同规格及繁殖前后墨西哥湾扇贝对高温的耐受性存在显著差异 ($P<0.05$),稚、小、中、大贝的 168 h UILT₅₀ 分别为 32.40℃、32.67℃、32.71℃、32.08℃,耐受性排列为小贝=中贝>稚贝>大贝;大贝中的非产放贝、产放贝分别为 32.41℃和 31.73℃,后者耐受性低于前者;此外,稚贝与大贝的高温敏感起始点均为 31.5℃,而小、中贝则为 32.0℃。研究结果充分说明稚贝与大贝高温耐受性比小、中贝低,产放贝比非产放贝低。这可能与稚贝(壳

长 5.2 mm)处于体质弱小阶段,大贝(壳长 50.1 mm)处于繁殖及衰退阶段,抗逆性差有关。作者的一项研究“北部湾海域墨西哥湾扇贝形态增长规律的研究”表明,墨西哥湾扇贝的壳长快速生长区间在 11.4~42.4 mm 之间,壳长生长极限为 53.8 mm。这就说明,本研究所用稚贝处于慢速生长的幼龄期阶段,此时贝体代谢水平低,营养积累慢,用于抵抗恶劣环境的能量储备少,一旦暴露于极端高温,其忍耐性就比不上处于快速生长期的贝;而大贝壳长 50.1 mm,已接近该贝生长极限 53.8 mm,反复的繁殖(实际观察可达 10 天 1 次)消耗大量营养和能量,使生理机能趋于衰退,抗逆性能下降,因此即使大贝在实验期无经历产放、体质健康,其 168 h UILT₅₀ 也只达 32.41℃,也比小、中贝

小;如实验期经历产放,则由于消耗大量能量而变得更加衰弱,168 h UILT₅₀下降为 31.73 ℃。研究结果与王如才等^[9]提出的贝类对温度的适应能力可能与规格有关的观点一致,也与 Thivakaran 等^[10]提出的变温生物对高温的耐受性与个体的生理状态有关,诸如性腺成熟度、个体的健康度等的观点相同。袁有宪等^[11]报道了壳长 3 cm 的栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)个体耐高温程度要强于壳长 5 cm 的个体,这可能与5 cm个体已进入繁殖期,导致体质衰弱,抗逆性下降有关,其结果与本研究相似。

何义朝等^[5]在研究温度对墨西哥湾扇贝胚胎和幼虫发育的影响中得出,在 32.5 ℃ 水温中,经 112 h 后,幼虫存活率降至 57.4%,其结果与本实验稚贝的 168 h UILT₅₀接近。尤仲杰等^[6]研究了温度对墨西哥湾扇贝幼虫和稚贝生长与存活的影响,得出墨西哥湾扇贝幼虫适宜水温为 5~33 ℃,稚贝(0.25 mm)适宜水温为 15~33 ℃。其高温端比本研究的高 0.3~0.9 ℃,这可能与实验材料规格、实验方法、高温致死临界界定方法不同有关。

3.2 北部湾海域夏天高温对墨西哥湾扇贝的存活无影响

根据对北部湾水深 6 m 以上的墨西哥湾扇贝养殖海域水温的周年调查,夏天最高水温为 30.8 ℃。而本研究结果表明,在墨西哥湾扇贝 4 个生活阶段中,以产放后的大贝耐高温能力最低,其 168 h UILT₅₀为 31.7 ℃;此外,从表 1~4 还可看出,当实验水温为 31.0 ℃时,经历 11 d 的稚、小、中、大贝相对存活率分别为 99.0%、99.5%、100%、98.7%,且 4 种规格的高温敏感起始点均不低于 31.5 ℃。上述数据说明,北部湾水深 6 m 以上海域夏天的水温对养殖的墨西哥湾扇贝是安全的。造成夏天成品贝尤其是产放贝死亡率高的因素可能是风浪、混浊度和附着生物。夏天北部湾盛行向岸西南风,每次持续时间 7~15 d 不等,风浪使养殖区浮子延绳筏上下窜动,使附着能力差的墨西哥湾扇贝成体处于滚动、摩擦及碰撞的胁迫状态,造成了极大的生理伤害;西南风浪卷起的底泥使海水变混浊,影响了鳃的滤食和呼吸机能,甚至导致窒息死亡。王如才等^[9]通过实验指出,海水混浊度对扇贝鳃纤毛运动以及鳃小片移行速度均有影响,混浊度越高,速度越慢;我们的另一项研究(待发表)表明,北部湾对扇贝危害最大的附着生物—藤壶的附着高峰期在 4~9 月

份,附着量最高可达 13.5 kg/笼(10 层),这些附着生物附着在网笼和贝体上,影响水流交换,与扇贝争饵料和氧气、妨碍扇贝开闭壳,使扇贝处于恶劣的生活环境。上述环境条件成为扇贝生存的胁迫因子,对临近衰老、尤其是刚产放、体质衰弱的成品贝造成极大的生理伤害,加速其死亡。

3.3 有关高起始致死温度界定标准的探讨

水温是贝类生长发育和存活的重要环境因子之一,而贝类对极限温度的耐受能力则决定着其分布范围,也是新品种移植是否取得成功的一个关键。有关贝类极限温度的研究已有不少的报道,但对极限温度的界定却没有统一的标准。袁有宪等^[11]认为栉孔扇贝耐高温极限为 27~28 ℃(以 96 h 死亡率 50%为标准);刘德经等^[12]在西施舌(*Coelomactra antiquate*)幼虫及稚贝致死温度初步研究中以 96 h 死亡率 30%为标准;赵匠^[13]在温度对日本木崎湖 *Semisulcospira decipiens* 幼虫生长发育的影响研究中以实验期间生长量小于 10%的水温作为极限温度;何义朝等^[5]在温度对墨西哥湾扇贝胚胎和幼虫发育的影响研究中以 112 h 存活率 60%~70%为标准;尤仲杰等^[6,14]在温度对墨西哥湾扇贝幼虫和稚贝生长与存活的影响研究中以 20 d 存活率 84.3%为依据,另在海水温度和盐度对泥蚶幼虫和稚贝生长及存活的影响研究中以 20 d 存活率 78%为依据;黎辉等^[15]在海水温度和密度对华贵栉孔扇贝幼虫和幼苗生长与存活的影响研究中以 144 h 存活率 72.75%为依据;林笔水等^[16]在温度与盐度和缢蛏幼体生存、生长及发育的关系研究中以 144 h 存活率 1.0%为依据。可见,各作者对极限温度的界定存在较大差异,如时间上有 96 h、112 h、144 h、20 d 等,死亡率上从 15.7%~99.0%不等,有的以生长量来衡量,尚未形成统一的标准,使不同作者间的研究结果难于作出比较,也使应用单位把握不准,因此,统一生存温度上限(又称为高起始致死温度)界定标准有其必要性。该标准应包含两个指标,即暴露于高温中的持续时间和死亡率。对于持续时间的界定,本研究认为,应以实验对象暴露于高温下何时不再产生死亡为标准。如本实验各高温组扇贝的死亡主要发生在 96 h 前,但实验温度接近高起始致死温度的实验组的死亡则延续至 168 h 才停止,以后连续 4 d 不再产生死亡,因此对本实验而言把高温暴露持续时间界定为 168 h 比较合理。对于不同实验,由于个体耐高温的变异幅度在不同品种存在差异,个体耐高温

变异越大,持续时间就会拉得越长。因此,持续时间的界定不应预先设定,应以实验对象暴露于高温下何时不再产生死亡为标准。对于死亡率的界定,根据毒性实验半致死浓度及很多生物学实验的阈值指标均以一定时间内 50% 致死为界限^[8,11,17-18],本研究认为贝类起始致死温度的界定标准也以 50% 死亡率较合适。Fry 等^[8]在研究淡水鱼的温度限制值时,定义起始致死温度 (ILT₅₀, incipient lethal temperature) 为 50% 的生物个体不能长期生存下去的温度,其标准与本研究是一致的。上述标准也适用于生存温度下限 (Lower limit of survival temperature, 又称为低起始致死温度, lower incipient lethal temperature, LILT₅₀) 的界定。

参考文献:

- [1] Abbott R T. *American Seashells* (2nd ed.) [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1974, 447-448.
- [2] 张福绥, 何义朝, 仝铃欣, 等. 墨西哥湾扇贝的引种和子一代苗种培育 [J]. 海洋与湖沼, 1994, 25 (4): 372-377.
- [3] 孙小真. “墨西哥湾扇贝养殖技术研究及推广”通过省级鉴定 [J]. 海洋与渔业, 2006, (3): 4.
- [4] 杨红生, 张涛, 王萍, 等. 温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响 [J]. 海洋学报, 1998, 20 (4): 91-96.
- [5] 何义朝, 张福绥, 李宝泉. 温度对墨西哥湾扇贝胚胎和幼虫发育的影响 [J]. 海洋与湖沼, 1999, 30 (3): 284-288.
- [6] 尤仲杰, 陆彤霞, 马斌, 等. 温度对墨西哥湾扇贝幼虫和稚贝生长与存活的影响 [J]. 水产科学, 2003, 22 (1): 8-10.
- [7] Tettelbach S T, Rhodes E W. Combined effects of temperature and salinity on embryos and larvae of Northern Bay scallop, *Argopecten irradians irradians* [J]. Mar Biol, 1981, 63 (3): 249-256.
- [8] Fry F E J, Brett J R, Clawson G H. Lethal temperature limits of young goldfish [J]. Rev Can Biol, 1942, 卷? 50-56.
- [9] 王如才, 王昭萍, 张建中. 海水贝类养殖学 [M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1993: 166-167, 181-185.
- [10] Thivakaran G A, Kasinathan R. Salinity, temperature and desiccation tolerance of intertidal Gastropoda [J]. Indian J Mar Sci, 1990, 19: 57-60.
- [11] 袁有宪, 曲克明, 陈聚法, 等. 栉孔扇贝对环境变化适应性研究—温度对存活、呼吸、摄食及消化的影响 [J]. 中国水产科学, 2000, 7 (3): 24-27.
- [12] 刘德经, 张克存, 黄德尧, 等. 西施舌幼虫及稚贝致死温度初步研究 [J]. 动物学杂志, 2001, 36 (1): 29-31.
- [13] 赵匠. 温度对日本木崎湖 *Semisulcospira decipiens* 幼虫生长发育的影响 [J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2001, 2 (6): 481-482.
- [14] 尤仲杰, 徐善良, 边平江, 等. 海水温度和盐度对泥蚶幼虫和稚贝生长及存活的影响 [J]. 海洋学报, 2001, 23 (6): 108-113.
- [15] 黎辉, 徐梅春, 金启增, 等. 海水温度和密度对华贵栉孔扇贝幼虫和幼苗生长与存活的影响 [C] // 华贵栉孔扇贝育苗与养殖生物学. 北京: 科学出版社, 1996: 23-29.
- [16] 林笔水, 吴天明. 温度与盐度和缢蛏幼体生存、生长及发育的关系 [J]. 水产学报, 1990, 14 (3): 1-8.
- [17] 陈全震, 曾江宁, 高爱根, 等. 鱼类热忍耐温度研究进展 [J]. 水产学报, 2004, 28 (5): 562-567.
- [18] 曹振东, 谢小军. 温度对南方鲷饥饿仔鱼的半致死时间及其体质量和体长变化的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2002, 27 (5): 746-750.

Upper incipient lethal temperature of *Argopecten irradians concentricus* Say

LIU Zhi-gang, WANG Hui, LI Zhi-min, ZHENG Yun-long

(1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China; 2. Zhanjiang Silver Wave Marine Biotechnology Company Ltd., Zhanjiang 524022, China)

Abstract: In 2004 and 2005, the electronically controlled temperature instrument ($\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$) was used in laboratory to investigate the tolerance of *Argopecten irradians concentricus* Say with different sizes cultured in Beibu Bay, Shouth China Sea, to high temperature in an attempt to base on solid ground culture of *A. i. concentricus* Say. The *A. i. concentricus* Say of interest were divided into 4 groups according to their sizes: juvenile, small, middle and large, with their mean shell heights at 0.52 cm, 1.83 cm, 3.13 cm and 5.01 cm, respectively. The experimental temperature gradient was set at $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ranging from $31.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $34.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prior to experiment, the temperatures of different experimental groups were increased in turn from natural state to predetermined settings at a rate of $1\text{ }^{\circ}\text{C}/4\text{ h}$. The upper sensitive incipient temperature (denoted USIT) was defined as the lowest temperature at the end of high temperature where the survival rate was statistically significantly different from that of control group at natural temperature ($P < 0.05$) by using Duncan multiple comparison. The upper incipient lethal temperature was defined as the high temperature at which 50% deaths in each size in 168 h were caused (denoted 168 hUILT₅₀). The results showed that 168 h UUILT₅₀ values of the juvenile, small, middle and large sizes were $(32.40 \pm 0.014)^{\circ}\text{C}$, $(32.67 \pm 0.010)^{\circ}\text{C}$, $(32.71 \pm 0.010)^{\circ}\text{C}$ and $(32.08 \pm 0.019)^{\circ}\text{C}$ respectively. There existed significant difference between different sizes of *A. i. concentricus* Say in the context of the tolerance to high temperature ($P < 0.05$), which followed the orders: small individuals = middle individuals > juvenile individuals > large individuals in terms of the tolerance ability. The 168 h UUILT₅₀ of large individuals which did not release gametes over the experiment was $(32.41 \pm 0.020)^{\circ}\text{C}$, whereas that of those large individuals which released gametes over the experiment declined to $(31.73 \pm 0.024)^{\circ}\text{C}$, the high temperature tolerance of the two different physiological states significantly differed ($P < 0.05$). The USIT values of juvenile and large sizes were $31.5\text{ }^{\circ}\text{C}$; those of small and middle sizes were $32.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, further evincing that juveniles and large individuals were less tolerant to high temperature than middle and small ones. The results confirms that the summer water temperature in Beibu Bay area with water depth more than 6 m is safe for the culture across *A. i. concentricus* Say, and also can be used to assess the appropriateness for the determination of culture site. The new approach developed in this study can serve as guidelines for similar ecological investigations. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (5): 778 – 785]

Key words: *Argopecten irradians concentricus* Say; upper sensitive incipient temperature; upper incipient lethal temperature; Beibu Bay