

温度对不同大小墨西哥湾扇贝生长的影响

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: 在8—32℃实验室控温范围内以2℃为梯度, 以壳高及体重增长作为观察指标, 研究3个规格墨西哥湾扇贝 *Argopecten irradians concentricus* 的适宜、较适宜及最适宜生长温度。研究表明, 小苗(壳高6.2mm, 体重48.3mg)、中苗(壳高18.1mm, 体重1 191.1mg)、大苗(壳高30.7mm, 体重5 809.9mg)在8—32℃水温下均能生长, 但在水温8及32℃, 3种规格增长率均较低; 适宜生长温度分别为小苗11.2—31.1℃、中苗9.8—31.8℃、大苗9.8—32.4℃; 较适宜生长温度分别为小苗18.1—29.4℃、中苗18.5—29.4℃、大苗16.9—30.4℃; 3种苗随规格增大, 适温范围扩大($p < 0.01$); 最适生长温度3种苗均为24—28.0℃, 其范围向高温端漂移; 在水温为8℃时, 3种苗存活率均达到97.0%以上, 水温在32℃时则小苗为47.0%、中苗为67.5%、大苗为76.0%, 表现出3种苗对低温有更强的忍耐力, 大苗对高温有更强的适应性。

关键词: 墨西哥湾扇贝 *Argopecten irradians concentricus*; 规格; 生长; 温度

中图分类号: Q111.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5470(2007)05-0047-06

Effect of temperature on growth of *Argopecten irradians concentricus* of various sizes

LIU Zhi-gang¹, WANG Hui¹, LI Zhi-min¹, ZHENG Yun-long²

(1. Fisheries College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China;

2. Zhanjiang Silver Wave Ltd. of Marine Biotechnology, Zhanjiang 524022, China)

Abstract: Suitable, relatively suitable and optimum growth temperatures of *Argopecten irradians concentricus* of 3 sizes were investigated under experimentally controlled temperature (ranging from 8℃ to 32℃, with temperature gradient of 2℃) by taking growth rates of shell height and wet weight as measures. The results showed that the small seedlings (shell height 6.2mm, wet weight 48.3mg), the middle seedlings (shell height 18.1mm, wet weight 1 191.1mg), and the large seedlings (shell height 30.7mm, wet weight 5 809.9mg) could all normally grow under water temperature of 8—32℃, but their daily growth rates were lower at 8℃ and 32℃. The suitable growth temperatures were 11.2—31.1℃ for the small seedlings, 9.8—31.8℃ for the middle seedlings, and 9.8—32.4℃ for the large seedlings, respectively. The relatively suitable temperatures were 18.1—29.4℃ for the small seedlings, 18.5—29.4℃ for the middle seedlings, and 16.9—30.4℃ for the large seedlings, respectively. The temperature adaptability of seedlings of 3 sizes increased with size increasing ($p < 0.01$). The optimum growth temperature was 24—28℃ for all 3 sizes, ranging upward. The survival rates of 3 sizes were all above 97.0% when water temperature was at 8℃, while the survival rates were 47.0% for the small seedlings, 67.5% for the middle seedlings, and 76.0% for the large seedlings respectively when water temperature was at 32℃, exhibiting that the seedlings of 3 sizes had a high adaptability to low temperature, and the large seedlings had a higher adaptability than the seedlings of the other 2 sizes. The results showed temperature superiority in the culture of *Argopecten irradians concentricus* in the Beibu Bay.

Key words: *Argopecten irradians concentricus*; size; growth; temperature

收稿日期: 2007-01-17; 修订日期: 2007-03-28。刘学东编辑

基金项目: 广东省科技厅资助项目(2001C20825, 2005B26001079)

作者简介: 刘志刚(1963—), 男, 广东省潮州市人, 副教授, 从事贝类生态、育种、养殖研究; E-mail: liuzg@gdou.edu.cn

通讯作者: 王 辉。E-mail: whh524@sina.com

墨西哥湾扇贝 *Argopecten irradians concentricus* 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* 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, 双壳形状比后者更膨凸, 肉柱得率比后者更高^[2], 于 1991 年 12 月引进我国养殖, 并重点在南方海域进行推广。广东海洋大学等单位在湛江市北部湾经过 5 年研究及推广^[3], 取得大面积养殖成功, 截至 2006 年 8 月, 累计推广面积达 7 380hm², 目前发展势头迅猛。在推广过程中发现冬季生长慢、夏天贝壳生长停滞等现象。因此, 研究该贝对温度的适应性, 可为养殖海区选择和生产季节安排提供理论依据。有关墨西哥湾扇贝适温性研究, 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。后述二项研究针对墨西哥湾扇贝人工育苗过程中胚胎、幼虫及附着稚贝的适温性, 而对养殖过程中的生长适温性研究目前尚未见报道。因此本文对养成期 3 种规格墨西哥湾扇贝的生长适温进行了研究, 以期为该贝在南方海域的进一步推广养殖及生态研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

3 种规格墨西哥湾扇贝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养殖的 3 批不同育苗期的贝苗。试验用贝取回实验室暂养 1 周以适应试验环境, 暂养后挑选健康、活力好、贝壳完整、大小均匀(壳高极差不超过 1.0mm)的实验用贝。对每个规格随机抽样 100 个统计平均壳长、壳高、壳宽及体重, 以此作为各规格的起始数据(表 1)。

表 1 3 种规格扇贝初始壳长、壳高、壳宽及体重

Tab. 1 Initial summary statistics of scallops of 3 sizes

规格	壳高/mm	壳长/mm	壳宽/mm	体重/mg.ind. ⁻¹
小	6.24 ^C ±0.11	6.03 ^C ±0.11	—	48.3 ^C ±2.5
中	18.13 ^B ±0.12	17.89 ^B ±0.12	6.81 ^B ±0.05	1191.1 ^B ±23.3
大	30.72 ^A ±0.10	30.20 ^A ±0.10	13.16 ^A ±0.04	5809.9 ^A ±55.8

注: 同列数据右上角标有不同大写字母表示差异极显著($p < 0.01$)。

1.2 方法

1.2.1 实验装置

每个实验装置由 150L 塑料大方桶(68cm×46cm×48cm)、1 000W 电子继电器、电触点水银

温度计(0—50℃, ±0.1℃)、500W 石英加热管、散气石等各 1 件组成。低温端外加冰袋(食品保鲜袋包装)降温及超温报警装置(±0.1℃)。

1.2.2 实验方案

以 2℃为梯度从 8—32℃共设置 13 个试验组和 1 个常温对照组(20.3—24.5℃), 每组设 2 个平行。各组分别放小苗 100 个、中苗 100 个、大苗 50 个, 用小型平底网笼吊挂。试验装置安放实验室内, 光照为室内自然光, 微沸状充气。为了减少温差对贝苗的刺激, 各试验组水温均从常温水开始, 并按 4h±1℃的升降温速率达到各自试验温度再开始计时。

1.2.3 日常管理

试验于 2005 年 3 月 26 日开始至 4 月 10 日结束, 为期 15 d。日常管理包括: 控温, 高温组由控温系统自动执行(±0.1℃), 低温组通过间断加冰袋及超温报警装置报警, 使降温与升温达到动态平衡(-0.1℃, +0.2℃); 每日分 6 次投饵, 投饵量以水中保持(2—3)×10⁴ cell·ml⁻¹为度, 保证各组摄食充足, 饵料品种包括湛江等鞭金藻 *Isochrysis zhanjiangensis*、亚心形扁藻 *Platymonas subcordiformis*、三角褐指藻 *Phaeodactylum tricorutum* 等; 每天等温换水 50%, 并及时拣除濒临死亡个体, 同时吸除桶底粪便及污物, 防止水质恶化; 每天定时测定各理化因子。试验期间海水盐度为 28.9—31.5, pH 为 8.1—8.2, DO > 5mg·L⁻¹, NH₃-N < 0.05mg·L⁻¹。

1.2.4 数据统计及处理

试验结束, 测量所有个体, 用游标卡尺测量壳高(精度±0.02mm); 用电子天平称量体重(精度±0.1mg), 称量前令贝壳腹缘朝下, 用纱布吸去贝壳表面及腹缘水分。死亡个体的壳高、体重视为与初始相等, 增长率视为零。壳高日增长率 R_H (mm·d⁻¹) = $(H_1 - H_0) / (t_1 - t_0) \times 100\%$, H_0 为初始平均壳高, 结束平均壳高 H_1 = (实验结束存活个体累计壳高 + 死亡个体数×初始平均壳高) / 实验起始个体数。体重日增长率 R_W (mg·d⁻¹) = $(W_1 - W_0) / (t_1 - t_0) \times 100\%$, W_0 为初始平均体重, 结束平均体重 W_1 = (实验结束存活个体累计体重 + 死亡个体数×初始平均体重) / 实验起始个体数。 t_0 、 t_1 分别为实验开始和结束时间。适宜及较适宜增长临界温度(critical temperature, T_C)等于最大增长率的 30%和 70%时所对应的温度, 计算采用二点法, 公式为: $T_C = T_1 + [(pR_m - R_1) / (R_2 - R_1)] \times (T_2 - T_1)$, 式中 p 为 30%或 70%, R_m 为最大日增长率, R_1 、 R_2 为与 pR_m 相邻的二个日

增长率； T_1 、 T_2 为与 R_1 、 R_2 相对应的实验温度。适宜及较适宜生长温度分别等于壳高与体重适宜增长温度重叠的部分及壳高与体重较适宜增长温度重叠的部分；适宜及较适宜增长温度为高低端适宜及较适宜增长临界温度之间的范围。最适生长温度等于壳高与体重最适增长温度重叠的部分；把经过统计学分析结果表明没有显著差异 ($p > 0.05$) 的日增长率最大的几个组对应的温度或与其它组别有显著差异 ($p < 0.05$) 的日增长率最大的一个温度作为壳高或体重最适增长温度。临界生长温度为增长率刚好等于 0 时的温度。实验数据采用平均数 ± 标准差 (mean ± S. D.) 表示，使用 SPSS(v13.0) 统计软件对数据进行处理，统计分析方法为方差分析 (ANOVA)，采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 小苗的适宜、较适宜和最适生长温度

多重比较结果表明，不同温度下小苗壳高、体重日增长率差异极显著 ($p < 0.01$)，越靠近 2 个温度端，其日增长率越小，但在 8—32℃ 范围内均能生长 (表 2、图 1)；根据表 2 求得小苗壳高、体重适宜增长温度分别为 10.7—31.3℃ 和 11.2—31.1℃，适宜生长温度为 11.2—31.1℃；壳高、体重较适宜增长温度分别为 15.6—29.7℃ 和 18.1—29.4℃，较适宜生长温度为 18.1—29.4℃。小苗在水温 24.0—28.0℃ 时生长最快，多重比较结果显示 24、26、28℃ 3 个组壳高或体重的日增长率差异均极不

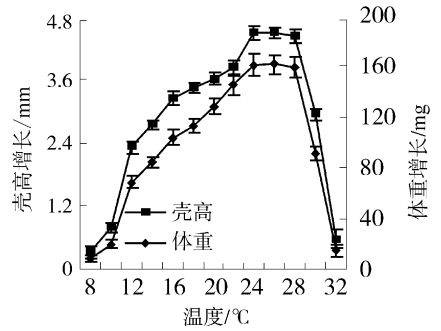


图 1 小苗的绝对增长随温度的变化
Fig. 1 Change in absolute growth of small seedlings with temperature

显著 ($p > 0.01$)，因此，24—28℃ 可作为小苗的壳高及体重最适增长温度，也等于小苗的最适生长温度。存活率上 32℃ 组最低，与其它组有显著差异。

2.2 中苗的适宜、较适宜和最适生长温度

多重比较结果表明，不同温度下中苗壳高、体重日增长率差异极显著 ($p < 0.01$)，越靠近 2 个温度端其日增长率越低，但在 8—32.0℃ 范围内均能生长 (表 3、图 2)。根据表 3 求得中苗壳高、体重适宜增长温度分别为 9.5—32.0℃ 和 9.8—31.8℃，适宜生长温度为 9.8—31.8℃；壳高、体重较适宜增长温度分别为 16.6—29.6℃ 和 18.5—29.4℃，较适宜生长温度为 18.5—29.4℃。中苗在水温 24.0—28.0℃ 时生长最快，多重比较结果表明 24、26、28℃ 3 个组壳高或体重日增长率差异均极不显著 ($p > 0.01$)，因此，可把 24—28℃ 范围作为中苗壳高、体重最适增长温度，也等于中苗的最适生长温度。存活率上 32℃ 组最低，与其它组有显著差异。

表 2 不同温度下小苗壳高、体重日增长率和存活率

Tab. 2 Survival rate and daily growth rates of shell height and wet weight of small seedlings under different temperatures

温度/℃	壳高日增长率 $R_H \pm S. D. / \text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	体重日增长率 $R_W \pm S. D. / \text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$	存活率/%
8	0.021 ^I ± 0.0003	0.51 ^H ± 0.03	97.5 ± 0.7
10	0.052 ^G ± 0.0007	1.31 ^G ± 0.06	96.0 ± 1.4
12	0.154 ^F ± 0.0019	4.54 ^F ± 0.19	94.5 ± 3.5
14	0.182 ^E ± 0.0018	5.59 ^E ± 0.18	97.0 ± 1.4
16	0.215 ^D ± 0.0027	6.93 ^D ± 0.29	98.0 ± 1.4
18	0.228 ^{CD} ± 0.0023	7.49 ^D ± 0.26	96.5 ± 2.1
20	0.240 ^{BC} ± 0.0026	8.56 ^C ± 0.31	95.5 ± 2.1
22	0.255 ^B ± 0.0030	9.67 ^B ± 0.35	97.5 ± 0.7
24	0.297 ^A ± 0.0036	10.73 ^A ± 0.45	97.0 ± 2.8
26	0.298 ^A ± 0.0030	10.78 ^A ± 0.38	94.0 ± 1.4
28	0.294 ^A ± 0.0033	10.58 ^A ± 0.41	97.0 ± 2.8
30	0.195 ^E ± 0.0023	6.11 ^{DE} ± 0.24	94.0 ± 4.2
32	0.037 ^H ± 0.0009	0.97 ^{GH} ± 0.08	47.0 ± 5.7
常温	0.243 ± 0.0027	8.15 ± 0.31	96.5 ± 2.1

注：上述数据为 2 个平行组的平均值。同列数据右上角标有不同大写字母表示差异极显著 ($p < 0.01$)，下同。

表 3 不同温度下中苗壳高、体重日增长率和存活率

Tab. 3 Survival rate and daily growth rates of shell height and wet weight of middle seedlings under different temperatures

温度/℃	壳高日增长率 $R_H \pm S. D. / \text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	体重日增长率 $R_W \pm S. D. / \text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$	存活率/%
8	0.035 ^H ± 0.000 2	7.18 ^I ± 0.14	97.0 ± 1.4
10	0.069 ^G ± 0.000 3	15.16 ^G ± 0.26	96.5 ± 2.1
12	0.112 ^F ± 0.000 7	24.03 ^F ± 0.47	97.5 ± 2.1
14	0.135 ^E ± 0.000 8	29.37 ^E ± 0.52	97.0 ± 2.8
16	0.141 ^{DE} ± 0.000 9	31.90 ^{DE} ± 0.65	97.5 ± 2.1
18	0.147 ^D ± 0.000 8	32.79 ^{CD} ± 0.57	96.5 ± 3.5
20	0.163 ^C ± 0.000 8	36.81 ^{BC} ± 0.58	96.0 ± 2.8
22	0.183 ^B ± 0.001 0	39.97 ^B ± 0.71	98.5 ± 0.7
24	0.200 ^A ± 0.001 1	47.07 ^A ± 0.78	97.0 ± 2.8
26	0.204 ^A ± 0.001 2	48.14 ^A ± 0.87	98.0 ± 1.4
28	0.195 ^A ± 0.001 1	45.82 ^A ± 0.77	96.5 ± 0.7
30	0.130 ^E ± 0.000 7	28.53 ^E ± 0.50	95.5 ± 2.1
32	0.063 ^G ± 0.000 5	12.71 ^H ± 0.34	67.5 ± 3.5
常温	0.190 ± 0.001 0	43.73 ± 0.74	97.0 ± 1.4

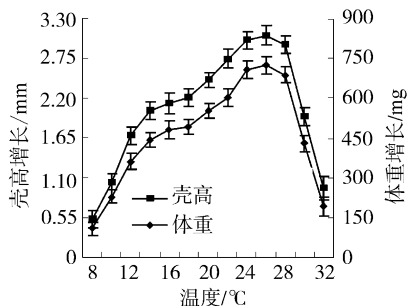


图 2 中苗的绝对增长随温度的变化

Fig. 2 Change in absolute growth of middle seedlings with temperature

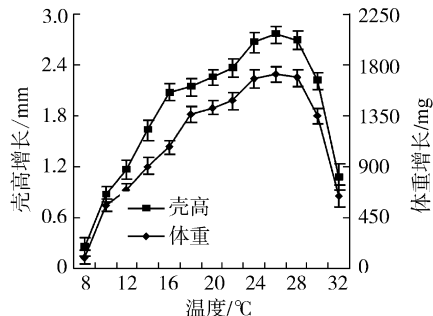


图 3 不同温度下大苗的绝对增长随温度的变化

Fig. 3 Change in absolute growth of large seedlings with temperature

2.3 大苗的适宜、较适宜和最适生长温度

多重比较结果表明,不同温度下大苗壳高、体重日增长率差异极显著($p < 0.01$),越靠近 2 个温度端其日增长率越低,但在 8—32°C 范围内均能生长(表 4、图 3)。根据表 4 求得大苗壳高、体重适

表 4 不同温度下大苗壳高、体重日增长率和存活率

Tab. 4 Survival rate and daily growth rates of shell height and wet weight of large seedlings under different temperatures

温度/°C	壳高日增长率 $R_H \pm S. D. / \text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$	体重日增长率 $R_W \pm S. D. / \text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$	存活率/%
8	$0.017^H \pm 0.0000$	$6.60^H \pm 0.07$	97.0 ± 2.8
10	$0.059^G \pm 0.0001$	$36.97^G \pm 0.31$	98.0 ± 0.0
12	$0.078^F \pm 0.0002$	$46.04^F \pm 0.47$	97.0 ± 1.4
14	$0.109^E \pm 0.0004$	$60.43^E \pm 0.67$	97.0 ± 1.4
16	$0.139^D \pm 0.0004$	$71.61^D \pm 0.66$	99.0 ± 1.4
18	$0.143^{CD} \pm 0.0004$	$90.87^C \pm 0.81$	98.0 ± 1.4
20	$0.150^{BC} \pm 0.0003$	$94.94^{BC} \pm 0.75$	97.0 ± 1.4
22	$0.158^B \pm 0.0005$	$98.75^B \pm 0.96$	97.0 ± 2.8
24	$0.178^A \pm 0.0006$	$111.56^A \pm 1.18$	98.0 ± 0.0
26	$0.184^A \pm 0.0005$	$114.27^A \pm 1.01$	98.0 ± 1.4
28	$0.179^A \pm 0.0005$	$112.46^A \pm 1.09$	97.0 ± 1.4
30	$0.147^{BC} \pm 0.0004$	$89.91^C \pm 0.81$	97.0 ± 2.8
32	$0.072^F \pm 0.0003$	$42.37^F \pm 0.63$	76.0 ± 5.6
常温	0.143 ± 0.0004	87.31 ± 0.86	98.0 ± 2.8

表 5 3 种规格种苗生长适温比较

Tab. 5 Comparison of suitable growth temperatures between seedlings of 3 sizes

规格	适宜临界温度/°C		较适宜临界温度/°C		最适宜临界温度/°C	
	低	高	低	高	低	高
小苗	$11.2^A \pm 0.11$	$31.1^C \pm 0.09$	$18.1^A \pm 0.12$	$29.4^B \pm 0.11$	24.0 ± 0.00	28.0 ± 0.00
中苗	$9.8^B \pm 0.12$	$31.8^B \pm 0.08$	$18.5^A \pm 0.13$	$29.4^B \pm 0.10$	24.0 ± 0.00	28.0 ± 0.00
大苗	$9.8^B \pm 0.10$	$32.4^A \pm 0.08$	$16.9^B \pm 0.13$	$30.4^A \pm 0.11$	24.0 ± 0.00	28.0 ± 0.00

3 讨论

3.1 3 种规格墨西哥湾扇贝对温度的适应性

温度和盐度是影响海洋生物生长发育的 2 个特别重要因素,许多学者对这 2 个因素的相互作用作了研究^[7-11],结果表明,只有二者之一接近极限时,二者结合才显示出明显的相互作用,当二者之

宜增长温度分别为 9.8—32.5°C 和 9.8—32.4°C,大苗适宜生长温度为 9.8—32.4°C;壳高、体重较适宜增长温度分别为 15.3—30.5°C 和 16.9—30.4°C,较适宜生长温度为 16.9—30.4°C。大苗在水温 24.0—28.0°C 时生长最快,多重比较结果表明 24、26、28°C 3 个组壳高或体重日增长率差异均极不显著($p > 0.01$),因此可把 24—28°C 范围作为大苗壳高、体重最适增长温度,也等于大苗的最适生长温度。32°C 组存活率最低,与其它组有显著差异。

2.4 3 种规格种苗生长适温的比较

3 种规格墨西哥湾扇贝对温度适应性有一定差异(表 5)。在适宜生长临界温度上,3 种苗在低温及高温端差异均极显著($p < 0.01$),大中苗比小苗在低温端扩展了 1.4°C,大苗在高温端比中苗扩展了 0.6°C,比小苗扩展了 1.3°C。在较适生长临界温度上也有类似情况。说明大规格种苗适温能力比小的强。在最适生长温度方面,3 种规格种苗无差异,均为 24.0—28.0°C。

一控制在安全范围时,没有明显的关系,单一因子的实验结果亦能反映出其范围。本实验的盐度为 27.8—30.4,是北部湾海域正常盐度范围,与本课题的另一项研究结果(待发表)壳高 4.38mm 墨西哥湾扇贝最适生存盐度为 26.0—31.3 的范围基本相同。因此,本实验结果反映了墨西哥湾扇贝的适温情况。

研究结果表明,3 种规格墨西哥湾扇贝在水温

8—32℃范围内均能生长，最适生长温度均为24—28℃，统计学分析表明在该范围内壳高及体重日增长率差异均极不显著($p>0.01$)，这与尤仲杰等^[6]报道的墨西哥湾扇贝浮游幼虫及稚贝二者的最适生长温度均为25—30℃的结果偏低1—2℃，这可能与不同生长阶段、实验条件及最适温度界定方法有关。然而，尽管3种规格种苗最适生长温度相同，但适宜生长温度有明显的差异，表现为种苗规格越大，适温范围越大，如小苗的适宜生长温度为11.2—31.1℃，中苗为9.8—31.8℃，大苗为9.8—32.4℃，可看出在低温端大、中苗均比小苗拓展了1.4℃，在高温端大苗比中苗拓展了0.6℃，中苗比小苗拓展了0.7℃。这可能与大苗生长发育完善、体格健壮、抗逆能力强有关，与王如才等^[12]提出贝类对温度的适应能力可能与贝类的规格有关的观点一致，也与尤仲杰等^[6]报道的墨西哥湾扇贝浮游幼虫的适宜温度为20—33℃，稚贝的适宜温度为15—33℃，稚贝比幼虫在低温端拓展了5℃的现象吻合。至于其稚贝(0.5—1.2mm)适宜温度在高温端比本研究的3个规格种苗都要高，则可能与贝苗生活环境、生活阶段、研究方法以及对适宜临界温度的界定等不同有关。袁有宪等^[13]报道了栉孔扇贝壳长3cm个体耐高温程度要强于壳长5cm的个体，其结果与本研究相反，这可能与该研究5cm个体已进入繁殖期，在高温季节繁殖导致体质衰弱容易死亡有关。本研究3cm壳高大规格种苗尚未进入繁殖年龄，因此其适温能力比中、小规格种苗强。由此推测，当墨西哥湾扇贝长至成体并进入繁殖季节时，其耐温能力可能比不上中小个体。

另外，同一规格种苗的壳高及体重增长适宜温度基本相同，如小苗分别为10.7—31.3℃及11.2—31.1℃、中苗为9.5—32.0℃及9.8—31.8℃、大苗为9.8—32.5℃及9.8—32.4℃；壳高及体重增长的最适温度也相同，均为24.0—28.0℃。说明壳高及体重2个指标的生长对温度的变化有共同的敏感性。

3.2 墨西哥湾扇贝最适生长温度向高温端漂移

本研究把30%最快日增长率的温度作为适宜增长临界温度，即在适宜增长温度的高低端临界具有相同的日增长率。在此情况下，3种规格种苗的最适生长温度(24.0—28.0℃)均位于适宜生长温度(取3种规格均值为10.3—31.8℃)范围内的右端，说明高温更利于墨西哥湾扇贝的生长。但当温度超出了最适生长温度范围时，日增长率的下降速度高温端比低温端急剧(图1—3)。杨红生等^[3]报道了

在水温10—28℃范围内不同规格的墨西哥湾扇贝耗氧率随温度的升高而升高，28℃时达到最大值，之后随着温度的继续升高反而下降，并认为高温(31.0℃)将进一步提高该贝蛋白质代谢水平。这一结果与本研究在10.3—28℃范围内日增长率随水温上升而递增、超过28.0℃之后递减的结果很吻合，并可用高温提高了蛋白质代谢水平这一结论来解释高温时贝体日增长率下降比低温快的现象。

3.3 北部湾养殖墨西哥湾扇贝的温度优势

根据本研究调查1周年的资料，北部湾海域周年水温变化幅度为15.7—31.2℃，1月份平均水温最低为18.6℃，8月份平均水温最高为30.8℃，上述温度均落在该贝的适宜生长温度10.3—31.8℃的范围内且较接近较适宜生长温度(取3种规格均值为17.8—29.7℃)。按二点法计算，水温在18.6℃时小、中、大苗的体重日增长率将分别达到最快的26.0℃组的73.6%、70.6%及81.1%；水温在30.8℃时小、中、大苗的体重日增长率也将分别达到最快的26.0℃组的37.6%、46.1%及62.0%。由此可见墨西哥湾扇贝在北部湾海域周年均能生长，且冬天的增长率可达到水温26.0℃时的70.6%—81.1%；夏天的增长率也可达37.6%—62.0%，冬天的生长速度比夏天要高，全年均不存在生长停滞现象。说明北部湾海域养殖墨西哥湾扇贝在温度上占有极大优势。但应注意，本课题的另一项研究“北部湾墨西哥湾扇贝形态增长规律”(待发表)表明，墨西哥湾扇贝在夏季长至成体时，由于繁殖损耗，并随生命周期进入老化阶段，也会出现生长停滞现象。

研究结果对墨西哥湾扇贝在北部湾的养殖生产具有重要的指导意义。确定了春季、秋季(自然水温24.0—28.0℃)最适合该贝生长，只要把该贝生命周期中特有的快速生长阶段(待发表)安排在这2个季节，就能充分促进该贝的生长，达到缩短养殖周期或提高成体规格的目的；并提醒墨西哥湾扇贝收获期不应安排在高温的夏季及低温的冬季，因为这2个时期生长慢、含肉率低，应安排在夏初及秋末，因为此时快速生长期已过，含肉率最高。

3.4 关于临界、适宜、较适宜和最适生长温度的界定

从国内外报道的资料看，对贝类适温及适盐、最适温度及最适盐度含义的界定尚未形成统一标准，大多根据数据或曲线的变化趋势给予大体的判断^[5—7,10,11,13—16]，造成不同作者研究结果缺乏可比性或准确性。本研究在总结其他作者观点的基础上，提出了下述观点：贝类对温、盐的适应性应划

分 4 个层次, 即最适、较适、适宜、临界。最适——各实验组中观察值接近实验最大值且经 Duncan 法多重比较证明无显著差异 ($p > 0.05$) 的几组数据或仅 1 组数据所对应的温、盐度值即为最适温、盐度; 较适——基于商业运作及生态意义^[8]而提出, 把观察指标达到实验最大值的 70% 以上时所对应的温盐范围作为较适温盐度; 适宜——把观察指标达到实验最大值的 30% 以上时所对应的温、盐范围作为适宜温、盐度; 临界——把观察指标刚好等于零的实验温、盐度作为生存或生长的起始温、盐度。而对观察值的统计, 在成活率方面应把成活率最高一组作为 100% 求其它各组相对存活率作为实际观察值; 在形态及体重指标方面, 应把实验过程死亡个体的指标视为与初始相同, 增长率视为零^[6,7,11], 并与其它存活个体的日增长率一起求加权平均日增长率(公式见实验方法), 这样求出的日增长率代表了各组总体增长值的变化趋势, 用它来评价适应性的 4 个层次时才比较客观, 因为我们要观察的是总体的增长趋势, 而不是剩余个体的增长趋势, 剩余个体是最优秀的, 它不能代表总体水平。这也就把造成死亡的环境因素综合考虑进去, 因而不会产生死亡率很高但日增长率不低或适宜生长范围与适宜存活范围重叠性差的问题。考虑到贝类生长包括形态增长与体重增长, 二者对环境因素可能存在敏感性差异, 在评价生长适温范围时, 取同一适温水平的壳高(壳长)与体重增长温度范围的重叠部分可能更为合理。

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, 元铃欣, 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] 赵匠. 温度对日本木崎湖 *Semisulcospiraq 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.
- [8] 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.
- [9] CASTAGNA M. Culture of the bay scallop, *Argopecten irradians* in Virginia [J]. Mar Fish Rev, 1975, (37): 19—24.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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: 181—185.
- [13] 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.
- [14] 陈来钊, 王子臣. 温度对海湾扇贝与虾夷扇贝及其杂交受精、胚胎和早期幼体发育的影响[J]. 大连水产学院学报, 1994, 9(4): 1—9.
- [15] 何义朝, 张福绥. 盐度对海湾扇贝不同发育阶段的影响[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(3): 197—203.
- [16] 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[M]//金启增. 华贵栉孔扇贝育苗与养殖生物学. 北京: 科学出版社, 1996: 23—29.