

极端温度对海刺猬 (*Glyptocidaris crenularis*) 存活、摄食、生长和性腺的影响*

孙平 常亚青** 赵冲 魏杭进

(大连海洋大学农业部北方海水养殖重点实验室, 辽宁大连 116023)

摘要 在实验室条件下研究了极端温度对海刺猬的存活率、摄食率、生长以及组织器官等方面的影响。实验设置两个处理组温度为 30 °C 和 -2 °C, 对照组为自然水温 (19~23 °C), 每组设置 3 个重复, 每个重复 60 枚海刺猬, 实验周期为 56 d。结果表明: 高温组海刺猬实验温度升到 30 °C 后 2 d 内全部死亡, 其平均摄食量 ($5.19 \pm 1.31 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) 极显著小于对照组 ($15.15 \pm 1.58 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) ($P < 0.01$); 低温组和对照组之间海刺猬存活率差异不显著 ($P > 0.05$); 但低温组海刺猬平均摄食量 ($0.18 \pm 0.04 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) 极显著小于对照组 ($10.90 \pm 0.33 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) ($P < 0.01$); 56 d 内低温组海刺猬个体湿重极显著小于对照组 ($P < 0.01$); 低温组海刺猬口器湿重、壳湿重、性腺湿重、壳干重、口器指数、壳指数极显著小于对照组 ($P < 0.01$), 性腺干重、口器干重显著小于对照组 ($P < 0.05$); 但性腺指数与对照组无显著差别 ($P > 0.05$); 低温组海刺猬最大承受压力极显著小于对照组 ($P < 0.01$); 在实验室条件下, 海刺猬 ($2 \sim 3 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) 无法长时间在高温环境 (30 °C) 下存活, 而能在低温环境 (-2 °C) 下存活但其摄食、生长和性腺性状影响极显著。

关键词 极端温度; 海刺猬; 存活率; 摄食量; 生长情况; 性腺性状; 最大承受压力

中图分类号 Q959 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2015)4-1085-06

Effects of extreme temperatures on survival, food consumption, growth, and gonad traits of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*. SUN Ping, CHANG Ya-qing**, ZHAO Chong, WEI Hang-jing (Key Laboratory of Mariculture & Stock Enhancement in North China's Sea, Ministry of Agriculture, Dalian Ocean University, Dalian 116023, Liaoning, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(4): 1085-1090.

Abstract: The effects of extreme temperatures on survival, food consumption, growth, and gonad traits of the sea urchins *Glyptocidaris crenularis* were studied. Two treatments and one control group were involved. The control group was set at 19-23 °C, and 30 °C and -2 °C were set as the two extreme temperature levels. Each group had three replicates, with each replicate consisting of 60 individuals. The experiment duration was 56 days. The results showed that the mortality rate of *G. crenularis* reached 100% within 2 days when *G. crenularis* were exposed to 30 °C. The average food consumption ($5.19 \pm 1.31 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) of *G. crenularis* at 30 °C was significantly lower than that in the control group ($15.15 \pm 1.58 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) ($P < 0.01$). No significant difference was found for the survival rate of *G. crenularis* between the low temperature and the control groups ($P > 0.05$), although the food consumption ($0.18 \pm 0.04 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) of *G. crenularis* at -2 °C was significantly lower than that in the control group ($10.90 \pm 0.33 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) ($P < 0.01$). The average body weight of *G. crenularis* in the low temperature group was significantly lower than that in the control group after 56 days. Wet lantern weight, lantern index, wet shell weight, wet gonad weight, dry shell weigh and shell index of individuals in the low temperature group were all significantly lower than those in the control group ($P < 0.01$). Dry gonad weight and dry lantern weight were significantly lower than those in the control group ($P < 0.05$). However, no signifi-

* 国家 863 计划现代农业技术领域重大项目 (2012AA10A412)、辽宁省农业攻关计划重大项目 (2011203003) 和辽宁省农业攻关及成果产业化项目 (201401549) 资助。

** 通讯作者 E-mail: yqchang@dlou.edu.cn

收稿日期: 2014-07-02 接受日期: 2014-12-11

cant difference was found in gonad index ($P>0.05$). Maximum pressure endurance of *G. crenularis* shell was significantly different between the low temperature and the control groups ($P<0.01$). These findings indicate that *G. crenularis* can not survive at extreme high temperature (30 °C); at the extreme low temperature (-2 °C), most of *G. crenularis* can survive during the experiment, while food consumption, growth and gonad weight are significantly reduced.

Key words: extreme temperature; *Glyptocidaris crenularis*; survival rate; food consumption; growth; gonad traits; maximum pressure endurance.

海胆是近海生态系统的关键物种之一,其通过强大的摄食活动可以很大程度地影响大型藻类的数量,而大型藻类的数量又会影响其他海洋动物的群落结构(Lawrence, 1975; Onitsuka *et al.*, 2014)。因此,海胆是一类具有重要生态功能的海洋底栖生物,是海洋生态系统中非常重要的一环(Pearse, 2006),对于海洋生境维护具有重要意义。同时,海胆也是重要的经济物种,在日本、中国、韩国和法国海胆性腺的市场价值较高(Andrew *et al.*, 2002; Azad *et al.*, 2010)。近年来,由于过量捕捞,海胆数量急剧下降,因此海胆养殖业迅速发展。2012年全国海胆养殖总产量高达5850000 kg。

研究表明,温度是控制变温动物生长的主导因素(Anil *et al.*, 2001; Ouellet *et al.*, 2005; Desai *et al.*, 2006),同时也是影响海胆的生长和存活的重要因素(高绪生等, 1999; Lawrence *et al.*, 2009; Azad *et al.*, 2011; Onitsuka *et al.*, 2014)。因此,研究温度对海胆摄食、生长和发育等方面的影响具有重要的理论和实践意义。目前有关温度对海胆影响研究多局限与适宜生长温度范围(Lawrence *et al.*, 2009; Azad *et al.*, 2011; Onitsuka *et al.*, 2014)。而关于海胆生境温度的极端情况(生境温度的上限和下限)对其存活、摄食、生长和性腺影响的报道较少。

海刺猬(*Glyptocidaris crenularis*)属于棘皮动物门、游在亚门、海胆纲、正形目、疣海胆科(phymosomatidae),是疣海胆科目前仅存的唯一代表种,分布于中国黄海北部及日本海的部分海域(常亚青等, 2004)。开阔大洋的温度变化范围大致是在-2~30 °C。由于海刺猬温度研究较少,所以参照其相同生境中的其他种海胆:中间球海胆的生存水温为-2~25 °C,马粪海胆的生存水温为0~30 °C(常亚青等, 2004);光棘球海胆的生存水温为0~30 °C(高绪生等, 1999)。综合以上信息选取温度上限为30 °C、下限为-2 °C。海刺猬作为我国北方最为重要的海胆种类之一,具有较高的经济和研究价值,然而其并未大规模工厂化养殖(Luo *et al.*, 2014)。

本实验在实验室条件下首次系统地研究了高温(30 °C)对海刺猬的存活率、摄食率的影响,以及低温(-2 °C)对海刺猬的存活率、摄食率、生长(主要是个体湿重的增长)以及组织器官等方面的影响。

1 材料与方法

1.1 实验海刺猬

实验所用海刺猬购自辽宁大连海宝渔业有限公司。实验前,海刺猬暂养在实验室20 m³的水泥池中,投喂海带。实验开始前海刺猬饥饿7 d。海刺猬个体的初始湿重为 $2.45\pm 0.30\text{ g}\cdot\text{ind}^{-1}$,初始水温为 $19.11\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 实验设计

实验分为两个处理组和一个对照组,两个处理组温度设置分别为:高温组为30 °C(从初始水温开始每天升3 °C直到30 °C,之后保持在30 °C),低温组为-2 °C(从初始水温开始每天降3 °C直到-2 °C,之后保持在-2 °C),对照组为自然水温(实验期间温度变化范围为19~23 °C)。每组3个重复,每个重复60枚海刺猬,并且各组海刺猬个体的初始湿重无显著差异($P>0.05$)。每个重复分别于50 L的白色水槽(长54 cm×宽41 cm×高29 cm)中饲养,水槽海水用气泵连续充气,试验期间处理组和对照组光照范围0~30 lx左右(较暗环境)。实验过程中采取过量投喂海带方法,每3 d换水1次并记录海刺猬摄食量(投喂海带前后称其干重以此计算摄食量)。实验从2013年7月23日开始到2013年9月17日结束,共56 d,每周测量海刺猬个体湿重值(仪器为分析天平,最小刻度0.01 g),以此来说明海刺猬在56 d内的生长情况。

实验结束时各组随机抽取10枚海刺猬,测量壳径、壳高(仪器为游标卡尺,最小刻度为0.01 mm)和湿重后解剖,再测量海刺猬的性腺湿重、壳湿重、口器湿重,然后在72 °C条件下(仪器为电热恒温鼓风干燥箱,型号DHG-9240A)烘干3 d,之后称量性腺、壳、口器的干重,最后计算海刺猬的性腺指数、壳指

数和口器指数。最后再随机抽取 10 枚海刺猬进行最大承受压力测试(仪器为 WDW-J1 电子式万能试验机)。本研究参考塑料的压塑力学研究(卢子兴等,1995)。最大承受压力指活体海刺猬壳顶所允许承受的最大表面压力。实验条件如下:试验速度为 $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 返回速度为 $200 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 宽度、长度、定变形、定应力都为 0。试验期间温度和湿度对实验无影响。我们这里只记录压力峰值即最大承受压力。

各指标计算方法:

平均摄食量 = (投喂前 - 投喂后海带干重) / 天数 / 个数

性腺指数 = (性腺湿重 / 体重) × 100%

壳指数 = (壳湿重 / 体重) × 100%

口器指数 = (口器湿重 / 体重) × 100%

1.3 试验海刺猬死亡的认定

首先观察海刺猬棘的摆动和管足是否伸出,对疑似死亡海刺猬(棘不摆动并有掉棘现象、管足不伸出、不活动)暴露于空气中 30 min 后重新入水,若管足不能伸出可认定为死亡(马福恒,2002)。

1.4 统计方法

利用 SPSS 13.0 对数据进行统计分析,对不同温度模式下各指标之间的差异采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检测,利用一元重复度量方差(one-way repeated measures ANOVA)分析海刺猬个体湿重变化。 $P < 0.05$ 认为差异显著, $P < 0.01$ 认为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 高温对海刺猬存活和摄食的影响

试验期间高温组的实验温度从初始温度($19.11 \pm 0.05 \text{ } ^\circ\text{C}$)升到 $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ 后 2 d 内海刺猬全部死亡,实验时间只维持了 6 d。6 d 内高温组海刺猬平均摄食量为 $5.19 \pm 1.31 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 极显著小于对照组($15.15 \pm 1.58 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) ($P < 0.01$)。高温组海刺猬存活率为 0, 极显著小于对照组(100%) ($P < 0.01$, 表 1)。

2.2 低温对海刺猬存活、摄食、生长、性腺性状、最大承受压力的影响

2.2.1 存活率和摄食量 56 d 内低温组海刺猬的存活率 ($76.67\% \pm 20.47\%$) 和对照组 ($98.88\% \pm 0.95\%$) 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。但低温组海刺猬平均摄食量为 $0.18 \pm 0.04 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 极显著小于对照组 ($10.90 \pm 0.33 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) ($P < 0.01$, 表 2), 其摄食

表 1 前 6 d 实验时间内高温组和对照组海刺猬的摄食量及存活率

Table 1 Food intake and survival rate of high temperature, low temperature and the control groups of *Glyptocidaris crenularis* at first 6 days of the experiment

处理	摄食量 ($\text{g} \cdot \text{ind}^{-1}$)	存活率 (%)
高温组	$5.79 \pm 1.31 \text{ a}$	0 a
对照组	$15.15 \pm 1.58 \text{ b}$	100 b

同列不同字母表示差异显著。

表 2 56 d 内低温组和对照组海刺猬的摄食量及存活率

Table 2 Survival rate and food consumption in low temperature and the control groups of *Glyptocidaris crenularis* at 56 days

处理	摄食量 ($\text{g} \cdot \text{ind}^{-1}$)	存活率 (%)
低温组	$0.18 \pm 0.04 \text{ a}$	$76.67 \pm 20.47 \text{ a}$
对照组	$10.9 \pm 0.33 \text{ b}$	$98.88 \pm 0.95 \text{ a}$

同列不同字母表示差异显著。

量几乎为 0。

2.2.2 生长和组织器官发育 低温组和对照组海刺猬个体湿重初始值 ($2.45 \pm 0.30 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) 之间差异不显著 ($P > 0.05$), 前 7 d 低温组和对照组之间体重差异不显著 ($P > 0.05$), 之后 49 d 低温组体重极显著小于对照组 ($P < 0.01$, 图 3)。低温组海刺猬个体湿重初始值为 $2.45 \pm 0.30 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 实验结束后为 $2.11 \pm 0.31 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 表明低温组海刺猬生长呈现负增长状态。

实验结束后低温组和对照组各从每个重复的海刺猬中随机抽取十只进行性腺性状比较。结果为低温组海刺猬壳径、壳高、个体湿重、口器湿重、壳湿重、性腺湿重、壳干重、口器指数、壳指数极显著小于对照组 ($P < 0.01$), 口器干重、性腺干重显著小于对照组 ($P < 0.05$)。而性腺指数与对照组之间差别不显著 ($P > 0.05$) (表 2)。

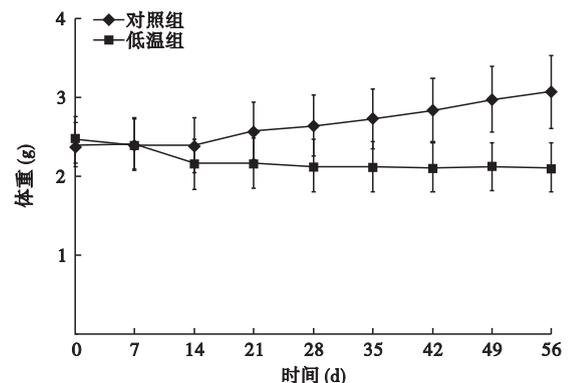


图 1 低温组和对照组 56 d 内海刺猬个体湿重变化

Fig.1 Wet weight changes in low temperature and the control groups in 56 days

表3 低温组 and 对照组海刺猬的解剖性状方差分析

Table 3 One-way ANOVA for anatomic traits in low temperature and the control groups

处理	壳径 (mm)	壳高 (mm)	个体湿重 (g · ind ⁻¹)	口器湿重 (g · ind ⁻¹)	壳湿重 (g · ind ⁻¹)	性腺湿重 (g · ind ⁻¹)	口器干重 (g · ind ⁻¹)	壳干重 (g · ind ⁻¹)	性腺干重 (g · ind ⁻¹)	口器指数 (%)	壳指数 (%)	性腺指数 (%)
低温组	17.85±1.04 a	8.87±0.85 a	2.09±0.38 a	0.12±0.02 a	0.98±0.22 a	0.06±0.03 a	0.06±0.01 a	0.35±0.10 a	0.02±0.01 a	5.32±0.21 a	47.00±1.19 a	3.44±0.36 a
对照组	21.09±1.34 b	10.56±1.05 b	3.33±0.52 b	0.17±0.03 b	1.83±0.28 b	0.13±0.05 b	0.07±0.01 b	0.68±0.11 b	0.03±0.01 b	6.03±0.18 b	55.65±1.58 b	4.22±0.25 a

同行不同字母表示差异显著。

表4 低温组 and 对照组最大承受压力测试情况

Table 4 Maximum pressure in low temperature and the control groups

处理	壳径(mm)	壳高(mm)	个体湿重(g · ind ⁻¹)	最大承受压力(N)
低温组	17.92±0.95 a	8.50±0.60 a	2.15±0.33 a	10.69±3.10 a
对照组	20.92±1.15 b	10.04±0.84 b	3.17±0.45 b	20.81±6.37 b

同列不同字母表示差异显著。

2.2.3 最大承受压力测试 低温组 and 对照组再从每个重复的海刺猬中随机抽取 10 枚海刺猬进行最大承受压力测试, 结果为低温组壳径、壳高、个体湿重和最大承受压力都极显著小于对照组 ($P < 0.01$, 表 3)。

3 讨论

3.1 高温对海刺猬存活和摄食的影响

高温组水体温度从初始温度 (19.11 ± 0.05 °C) 升到 30 °C 后 2 d 内海刺猬全部死亡, 实验时间只维持了 6 d。实验结果表明, 规格为 $2 \sim 3$ g · ind⁻¹ 的海刺猬无法在极端高温环境 (30 °C) 下存活, 这一研究结果和高绪生等 (1993) 报道的温度对光棘球海胆 (*Strongylocentrotus nudus*) 幼海胆的影响结果一致。其指出, 光棘球海胆幼海胆 (不足 4.5 cm) 水温超过 22 °C, 随水温的升高幼海胆的生长速度急剧下降, 至 28 °C 时其生长变得极其缓慢, 活力显著减弱, 但 10 d 内无死亡; 至 30 °C 时幼海胆第 3 d 开始出现死亡, 第 7 d 全部死亡。常亚青等 (1998) 研究也指出, 海区水温长期在 24.4 ~ 28.0 °C 内, 会造成筏养虾夷马粪海胆大量死亡。这些研究都说明, 北方重要的海胆种类很难在极端高温环境下存活。郝振林等 (2014) 研究也发现, 升温过程中, 大、小虾夷扇贝的存活率随温度升高逐渐降低。实验期间还观察到, 高温组海刺猬在 6 d 内的平均摄食量要显著小于对照组。与对照组相比, 30 °C 的高温环境抑制了海刺猬的摄食。说明, 当温度超过一定适温范围后随着温度的升高海刺猬的摄食量会显著降低。实验期间还观察到, 19 °C 左右水温对海刺猬的活力无影响; 25 °C 水温下海刺猬活力不见减弱, 体表无明显损伤; 28 °C 水温时, 海刺猬附着力明显下降, 大部分都

爬附于白色水槽的底面上, 个别海刺猬轻微脱棘脱色; 30 °C 水温时, 1 d 后即发现所有海刺猬均只能微弱爬附于白色水槽的底面上, 大部分海刺猬严重脱棘脱色, 2 d 后所有海刺猬严重脱棘脱色, 全部死亡。上述海刺猬行为和表型性状的观察结果也证实了海刺猬 ($2 \sim 3$ g · ind⁻¹) 无法在极端高温环境 (30 °C) 下存活。而造成海刺猬在极端高温环境 (30 °C) 下难以存活原因很可能是自身抵抗力下降和水体环境压力主客观两方面因素共同作用的结果。连续的高温环境会降低海刺猬的整体“生理适宜度”, 会降低其自身抵抗力, 加之高温水体环境会促使某些致病微生物的繁殖以及病原体的滋生, 其进一步加速了海刺猬的死亡。与此相近的研究结果多见于牡蛎 (*Ostrea gigas thunberg*) 的夏季高温死亡实验 (马绍赛等, 1997; 孙景伟, 1997; 毛玉泽等, 2005; 张其中等, 2005)。应该看到, 本实验只选取了 30 °C 这一个高温点, 低于 30 °C 的高温点对海刺猬的存活、生长和摄食等情况的影响需要进一步的研究, 进而确定海刺猬的生存温度上限。

3.2 低温对海刺猬存活、摄食、生长、性腺性状和最大承受压力的影响

低温组水体温度从初始温度 (19.11 ± 0.05 °C) 降到 -2 °C 后, 56 d 内海刺猬的存活率为 $76.67\% \pm 20.47\%$, 与对照组 ($98.88\% \pm 0.95\%$) 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。这一结果表明规格为 $2 \sim 3$ g · ind⁻¹ 的海刺猬在 56 d 内能在极端低温 (-2 °C) 环境下存活。这与高绪生等 (1993) 报道温度对光棘球海胆 (*S. nudus*) 成海胆的影响研究一致。光棘球海胆成海胆 (4.5 ~ 10 cm) 在低温环境 0 时吸附力很弱, 基本不活动、不摄食, 但 15 d 内无死亡。实验期间还观察到海刺猬在 -2 °C 条件下几乎不活动, 吸附力也

很差,实验海刺猬均只能微弱爬附于白色水槽的底面上,而且个别海刺猬轻微脱棘脱色。上述海刺猬行为和表型性状的观察结果也与高绪生等(1993)报道的温度对光棘球海胆成海胆的影响研究一致。这些现象都证明了海刺猬在56 d在实验室条件下能在极端低温(-2℃)环境下存活。

低温组海刺猬摄食、生长(主要是个体湿重的增长)和组织器官的发育受到显著影响。实验期间低温组的海刺猬在56 d内平均摄食量为 0.18 ± 0.04 g,几乎为0,说明极端低温环境下海刺猬几乎不摄食。低温组和对照组海刺猬前7 d体重之间差异不显著($P > 0.05$),原因可能是低温组水体温度从初始温度(19.11 ± 0.05 ℃)降到-2℃需要7 d,在这7 d温度下降过程中低温组海刺猬生长并未受到影响。但温度达到-2℃之后的49 d内低温组体重(2.16 ± 0.03 g · ind⁻¹)极显著小于对照组(2.70 ± 0.09 g · ind⁻¹)($P < 0.01$),并且低温组海刺猬的生长呈现负增长状态(个体湿重初始值为 2.45 ± 0.30 g · ind⁻¹但56 d实验结束后为 2.11 ± 0.31 g · ind⁻¹)。产生这一现象的原因很可能是极端低温环境(-2℃)极显著的抑制了海刺猬的摄食、吸收与同化作用,导致海刺猬无法正常生长。Azad等(2011)指出,在8、12、16℃三个测试温度下,温度的升高会导致紫球海胆(*S. purpuratus*)摄食率、吸收率、同化率提高。反之温度降低会导致摄食率、吸收率、同化率的降低。Siikavuopio等(2006)试验了4、6、8、10、12和14℃5个水温条件和季节变化(冬季和夏季)下北方球海胆(*S. droebachiensis*)的摄食情况。结果显示,不论在冬季还是夏季其摄食量随着温度的升高有显著的线性增加,这就说明温度的降低会导致低的摄食进而会显著地影响海胆的正常生长。Klinger等(1986)指出,*L. variegatus*在较低温度(16℃)下与23℃相比具有显著低的摄食和吸收效率。说明海胆在低温环境下摄食以及生长受到显著抑制。另外,常亚青等(2004)也指出,海胆在生长适合温度范围内,生长速度较快;若超出其适合温度范围,海胆的生长速度将显著下降,甚至停止生长。汪留全等(1989)研究结果表明,冬季水温在17℃以下时,幼蟹几乎停止生长。这些研究都说明,低温环境会显著地影响海胆的摄食、吸收、同化作用。

实验结束后观察到低温组的海刺猬壳径、壳高、个体湿重、口器湿重、壳湿重、性腺湿重、壳干重、口器指数、壳指数极显著小于对照组($P < 0.01$),性腺

干重、口器干重显著小于对照组($P < 0.05$)。但性腺指数与对照组无显著差别($P > 0.05$)。这些说明低温环境对海刺猬的壳、口器、性腺的发育都有影响,而且对壳与口器的影响比性腺要显著。Azad等(2011)指出,紫球海胆(*S. purpuratus*)的性腺指数在8、12、16℃3个测试温度下无显著差异,但在12℃时性腺指数最高。James等(2007)研究了温度对*E. chloroticus*性腺产量的影响,结果表明,性腺指数随着温度的下降而显著降低。产生这一现象的原因很可能是长期的低温环境极显著的影响海刺猬的摄食、吸收进而影响壳、口器与性腺等组织器官的正常发育。但是对壳与口器的影响比性腺要显著的原因很可能是2~3 g规格的海刺猬主要侧重壳和口器的生长,因此壳与口器(除口器干重外)等一些指标极显著小于对照组,口器干重显著小于对照组。Fernandez等(2000)以及Lyons等(2007)研究指出,规格不同的海胆在发育的不同阶段,身体各部分发育的重点不同,而且身体各部分间的能量分配也是有所差别的,前期小规格的海胆主要是侧重壳和口器的生长,大规格的到达性成熟以后则侧重生殖腺的生长,而且它们之间存在补偿效应。实验期间还观察到低温组的海刺猬的最大承受压力极显著小于对照组($P < 0.01$),产生这一现象的原因可能是低温组海刺猬的摄食量几乎为0,其很难维持自身壳与口器等组织器官的正常发育和生长因此最大承受压力极显著小于对照组。结果同样也证实了小规格的海胆主要是侧重壳与口器的生长(Fernandez *et al.*, 2000; Lyons *et al.*, 2007)。低温组海刺猬的最大承受压力小说明其活体壳顶所允许承受的最大表面压力小进而说明壳比较脆弱,表明其自身防御能力会大大降低,更容易被捕食者压碎而死亡(Guidetti *et al.*, 2005)。需要指出的是,本实验只研究了-2℃这一个低温点,低于-2℃的温度点对海刺猬的影响需进一步研究,从而确定海刺猬的生存温度下限。

4 结 语

本实验首次系统地在实验室条件下研究了极端高低温在56 d内对海刺猬(*G. crenularis*)的存活、生长、摄食和性腺等组织器官的影响。结果表明:在实验室条件下,规格为2~3 g · ind⁻¹的海刺猬只能在极端高温环境(30℃)下存活1 d左右,2 d内全部死亡;而海刺猬(2~3 g · ind⁻¹)在56 d内能在极端低温环境(-2℃)下存活,但其摄食受到严重抑制

摄食量几乎为0,生长呈现负增长状态,壳与口器的发育受到显著抑制,性腺发育受到一定程度影响。本文实验结果对于海刺猬生态学方面提供了一些有价值的信息:海刺猬对高温的耐受性较差;对低温的耐受性较强,但低温对其摄食、生长、性腺等组织器官的影响显著。实验结果也对海刺猬后续的工厂化养殖提供科学依据。但本实验只研究了30℃和-2℃两个温度点,从而构成本实验的一个局限,更多的后续研究应集中于更多的温度点(低于30℃的高温点和低于-2℃的低温点),完善高温和低温对海刺猬存活、生长、摄食和性腺等组织器官影响的研究,从而进一步确定海刺猬生存温度的上下限。

参考文献

- 常亚青,丁君,宋坚,等. 2004. 海参、海胆生物学研究与养殖. 北京:海洋出版社.
- 常亚青,王子臣. 1998. 虾夷马粪海胆筏式人工养殖研究. 大连水产学院学报, **12**(2): 7-14.
- 高绪生,常亚青. 1999. 中国经济海胆及其增养殖. 北京:中国农业出版社.
- 高绪生,孙勉英,胡庆明,等. 1993. 温度对光棘球海胆不同发育阶段的影响. 海洋与湖沼, **24**(6): 634-640.
- 郝振林,唐雪娇,丁君,等. 2014. 不同高温水平对虾夷扇贝存活率、耗氧率和体腔液免疫酶活力的影响. 生态学杂志, **33**(6): 1580-1586.
- 卢子兴,田常津,王仁. 1995. 玻璃纤维增强聚氨酯泡沫塑料的压缩力学性能研究. 实验力学, **10**(1): 45-50.
- 马福恒. 2002. 盐度和温度对中间球海胆摄食和存活的影响. 水产科学, **21**(6): 1-3.
- 马绍赛,周诗姜,陈聚法,等. 1997. 滩涂养殖牡蛎死亡及生态环境效应调查研究. 海洋水产研究, **18**(2): 13-19.
- 毛玉泽,周毅,杨红生,等. 2005. 长牡蛎(*Crassostrea gigas*)代谢率的季节变化及其与夏季死亡关系的探讨. 海洋与湖沼, **36**(5): 445-451.
- 孙景伟,王志松,王富贵,等. 1997. 太平洋牡蛎大量死亡原因与防治对策. 水产科学, **16**(3): 3-7.
- 汪留全,周婉华. 1989. 水温影响幼蟹生长特性的初步研究. 生态学杂志, **8**(5): 22-25.
- 张其中,邱马银,吴信忠,等. 2005. 热休克诱导近江牡蛎对高温的耐受性. 生态科学, **24**(1): 35-37.
- Andrew NL, Agatsuma Y, Ballesteros E, et al. 2002. Status and management of world sea urchins fisheries. *Oceanography and Marine Biology*, **40**: 343-425.
- Anil AC, Desai D, Khandeparker L. 2001. 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*, **263**: 125-141.
- Azad AK, McKinley S, Pearce CM. 2010. Factors influencing the growth and survival of larval and juvenile echinoids. *Reviews in Aquaculture*, **2**: 121-137.
- Azad AK, Pearce CM, McKinley RS. 2011. Effects of diet and temperature on ingestion, absorption, assimilation, gonad yield and gonad quality of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*). *Aquaculture*, **317**: 187-196.
- Desai D, Khandeparker L, Shireyama Y. 2006. Larval development and metamorphosis of *Balanus albicostatus* (Cirripedia: Thoracica): Implications of temperature, food concentration and energetic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **86**: 335-343.
- Fernandez C, Boudouresque CF. 2000. Nutrition of the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) fed different artificial food. *Marine Ecology Progress Series*, **204**: 131-141.
- Guidetti P, Mori M. 2005. Morph functional defenses of Mediterranean sea urchins, *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula*, against fish predators. *Marine Biology*, **147**: 797-802.
- James PJ, Heath P, Unwin MJ. 2007. The effects of season, temperature and initial gonad condition on roe enhancement of the sea urchin *Evechinus chloroticus*. *Aquaculture*, **270**: 115-131.
- Klinger TS, Hsieh HL, Pangallo RA, et al. 1986. The effects of temperature on feeding, digestion, and absorption of *Lytechinus variegatus* (Lamarck) (Echinodermata: Echinoidea). *Physiological and Biochemical Zoology*, **59**: 332-336.
- Lawrence JM, Cao XB, Chang YQ, et al. 2009. Temperature effect on feed consumption, absorption and assimilation efficiencies and production of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. *Journal of Shellfish Research*, **28**: 389-395.
- Lawrence JM. 1975. On the relationships between marine plants and sea urchins. *Oceanography and Marine Biology*, **13**: 213-286.
- Luo SB, Tian XF, Zhao C, et al. 2014. Phenotypic correlations of somatic and gonad traits of sea urchins *Glyptocidaris crenularis* in two sampled periods: First insight into its breeding and aquaculture. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, **32**: 1-5.
- Lyons DA, Scheibling RE. 2007. Differences in somatic and gonadic growth of sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) fed kelp (*Laminaria longicirris*) or the invasive alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* are related to energy acquisition. *Marine Biology*, **152**: 285-295.
- Onitsuka T, Unuma T, Kawamura T. 2014. Effects of diet and temperature on post-settlement growth and survival of the short-spine sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. *Aquaculture Research*, **45**: 1-15.
- Ouellet P, Chabot D. 2005. Rearing *Pandalus borealis* (Krøyer) larvae in the laboratory. I. Development and growth at three temperatures. *Marine Biology*, **147**: 869-880.
- Pearse JS. 2006. Ecological role of purple sea urchins. *Science*, **314**: 940-941.
- Siikavuopio SI, Christainsen JS, Dale T. 2006. Effects of temperature and season on gonad growth and feed intake in the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture*, **255**: 389-394.

作者简介 孙平,男,1988年生,硕士研究生,主要从事水产动物养殖、育种、生态等方面研究。E-mail: 970526537@qq.com

责任编辑 李凤芹