## 高温胁迫下皱纹盘鲍不同养殖群体心率变化比较

林思恒<sup>1,2,3,4</sup>, 吴富村<sup>1,3,4</sup>, 张国范<sup>1,3,4</sup>

(1. 中国科学院 海洋研究所 实验海洋生物学重点实验室,山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学,北京 100049; 3. 海洋科学与技术国家实验室 海洋生物学与生物技术功能实验室,山东 青岛 266071; 4. 中国科学院 海洋研究所 海洋生态养殖技术国家地方联合工程实验室,山东 青岛 266071)

摘要:高温是海水贝类度夏死亡的环境诱因之一。本研究应用一种非损伤性的心率检测方法,检测两个皱纹盘鲍养殖群体在高温胁迫条件下心率等生理指标的变化,尝试以心率变化指标比较这两个群体高温耐受能力。由于高温胁迫下皱纹盘鲍的心率随温度变化的关系符合阿伦尼乌斯(Arrhenius)公式,且 心率随温度上升呈先上升后下降趋势,该研究通过计算两者直线拟合拐点即阿伦尼乌斯拐点温度(ABT, Arrhenius break temperatures)指标,用以指示皱纹盘鲍温度耐受程度。以此法对皱纹盘鲍两个群体(高温 耐性,对照)各17个个体进行了测定分析,结果表明:两个群体间的ABT存在显著差异,高温耐性组的 皱纹盘鲍的ABT显著高于对照组(P<0.05);个体ABT指标的高低与测定个体的壳高呈正相关(P<0.05)。 本研究首次将探讨了高温胁迫下皱纹盘鲍心率变化规律,并以ABT为指标分析比较了两个皱纹盘鲍养 殖群体间高温耐受能力,结果对研究皱纹盘鲍和其它贝类温度胁迫下生理响应及抗逆选育具一定借鉴 意义。

关键词: 皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*); 心率测定; 高温胁迫; ABT 中图分类号: S917.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)11-0084-07 doi: 10.11759/hykx20160328003

鲍养殖产业随着杂交技术的产业化应用及浅海 养殖技术等的革新, 年产量已超过 100000 t。近年来, 皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)已经成为福建海区 的主要养殖鲍物种, 且福建的养殖鲍产量约占全国 总产量 85%。然而皱纹盘鲍作为北方自然分布的物 种, 在转移到南方海区的养殖过程中, 尤其是近年 来遭遇了度夏死亡的问题, 每年的度夏死亡造成了 皱纹盘鲍养殖产业的巨大损失<sup>[1-2]</sup>。

夏季大规模死亡一直是困扰经济贝类的主要问 题之一,虽然根本原因尚未有定论,但学界普遍认 为是环境因素<sup>[3-4]</sup>、贝类生物的生理状态<sup>[5-6]</sup>和病原微 生物的富集<sup>[7-9]</sup>等交互作用引起的。高温是导致海水 贝类夏季死亡的重要原因,目前海水贝类高温胁迫 的生理响应及适应机制已成为研究热点,已有许多 研究针对贝类动物高温耐受能力进行初步研究,如对 近江牡蛎的致死温度<sup>[10]</sup>、高温下虾夷扇贝存活率<sup>[11]</sup> 以及皱纹盘鲍幼苗高温存活率的研究<sup>[12]</sup>。然而这些 研究都是采用对贝类动物进行高温胁迫,逐渐升高 处理温度,当出现死亡时,记录致死温度的方法,其 表型记录仅为生存与否(二分类数据),且存在温度 测定不够准确的问题。开发新型的测皱纹盘鲍个体 的高温耐受能力的检测方法及表型评价方法将有效 解决这一问题。

心率的测定是一种重要的反映生物代谢水平变 化的方法。衡量高温胁迫时皱纹盘鲍的心率变化可 以用于评估皱纹盘鲍对高温的耐受能力。早在 1990 年,无脊椎动物心率就能通过红外线信号的方法被 稳定测定<sup>[13]</sup>,阿伦尼乌斯拐点温度(Arrhenius break temperatures, ABT)指标最早在 1996 年被用于表现潮 间带瓷蟹的高温耐受程度<sup>[14]</sup>。根据阿伦尼乌斯方程, 心率与温度两者之间存在线性关系。通常动物体的 心率会先随着温度上升而上升,表现了代谢速率的 加快;当温度超过了动物体的承受范围时,心率会

收稿日期: 2016-02-10; 修回日期: 2016-04-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31302184); 贝类产业技术体系项目 (CARS-48); 泰山攀登计划项目

<sup>[</sup>Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 31302184; The Earmarked Fund for Modern Agro-industry Technology Research System (CARS-48); Taishan Scholars Climbing Program of Shandong]

作者简介: 林思恒(1991-), 男, 福建厦门人, 硕士研究生, 研究方向: 海洋贝类遗传育种, E-mail: linsiheng@qq.com; 张国范, 通信作者, 研究员, 博士研究生导师, E-mail: gfzhang@qdio.ac.cn

随着温度上升而下降, 意味着机体受到了影响。这两 个阶段过程中心脏活动急剧下降的温度被称为 ABT 指标,可以用于量化机体的高温耐受程度。该方法具 有非损伤性、进行原位测定的优点,而且得到的指标 可以精准量化,已经用于滨螺、帽贝和贻贝等动物的 心率测定<sup>[15-16]</sup>。本研究首次探讨了高温胁迫下皱纹 盘鲍心率变化规律,并以 ABT 指标分析比较了两个 皱纹盘鲍养殖群体间高温耐受能力。本文对鲍等温 度胁迫下生理响应及抗逆选育等研究等具一定借鉴 意义。

1 材料与方法

### 1.1 材料

本研究选取来自宁德海区(26°69'N, 119°72'E)和 青岛海区(36°25'N, 120°69'E)的两个皱纹盘鲍养殖群 体(均为一龄个体)。其中宁德海区的皱纹盘鲍群体对 度夏存活性状经三代选育,且一直在南方海区饲养, 具有相对较强的温度耐受性。而青岛海区皱纹盘鲍 群体作为对照,未经度夏存活性状选育,假定其不 具备高温耐受性,称为对照群体。两个皱纹盘鲍群体 分别从海区运至实验室后,在实验养殖池内暂养两 周,期间每日更换海水,常规方法投喂至实验开始。 之后分别从两个群体内挑选 17 个个体进行心率测 定。实验于 2014 年 12 月至 2015 年 2 月进行,该阶 段实验室养殖池海水温度为 10~12℃。

### 1.2 方法

### 1.2.1 心率测定方法

心率测定采用一种非损伤性的方法<sup>[17-18]</sup>,将红 外传感器用蓝丁胶(Blu-Tack, Bostik Ltd, UK)固定在 鲍鱼心脏对应的壳表面<sup>[19]</sup>。心跳产生的光电流信号 经放大器(AMP 03, Heartbeat monitor, Newshift, Portugal)放大过滤处理后,被记录并展示在简易示波器 软件(Powerlab 8/30, AD Instruments, Germany)上,利 用内置软件(LabChart Version 8.0)可以计算出每分钟 心率(bpm)。

### 1.2.2 升温设备

开始测定时将待测定的皱纹盘鲍个体与设备连接 完好后,放入设定为15℃的控温循环水浴锅内(鲍鱼实 际放置在水浴锅内的装有海水的圆形玻璃槽(25 cm× 25 cm×20 cm)内,所测温度均为海水温度,下同)。当 个体心率信号稳定后,开始升高水浴温度,每次增 加 0.5℃。每增加一次温度后至海水温度也上升 0.5℃ 后,维持 2 min 后再继续升温,直至皱纹盘鲍腹足从 玻璃槽壁脱离。实验过程中通过温度测定仪严格记录温度(Fluke 54II, Fluke, WA, USA)。结合持续收集的心跳信号,可以得出升温过程中每个温度对应的心率,通过计算求得每个个体的  $ABT(^{\mathbb{C}})$ 。

### 1.2.3 不同群体皱纹盘鲍个体心率测定

随机选取高温耐性和对照组的皱纹盘鲍群体一 龄个体各 17 个,进行心率测定,升温区间为 15~35℃, 持续时间不超过 2 h,并对每个实验个体进行生长性 状测定,包括壳长(mm)、壳高(mm)、壳宽(mm)和体 湿质量(g)。

### 1.3 数据处理

用示波器 Powerlab 内置软件 LabChart 分析不同时 间点的心率数据,选取升温过程中温度稳定阶段期间 的心率作为该温度对应心率。根据阿伦尼乌斯方程:

$$\ln\frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

式中, *k* 为每分钟周期数(bpm); *T* 为绝对温度(K); *E<sub>a</sub>* 为活化能与 *R* 为前因子均在该公式中被认为常数。

对温度与心率进行变换后,利用 Excel 2013 和 SPSS20.0 (IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA)对数据 进行作图与分析。使用 Excel 的线性回归分析功能对 每个皱纹盘鲍个体心率值上升与下降阶段进行直线 拟合,继而求出交点温度 ABT 指标。利用独立样本 t检验方法分析两个群体间的 ABT 指标显著性差异, 显著性差异表示为 P<0.05。为分析皱纹盘鲍体尺及 个体质量性状对心率 ABT 指标的影响,对不同个体的 生长性状与 ABT 指标进行相关分析并计算 Pearson 相 关系数分析,显著相关表示为 P<0.05。

### 2 结果

两个皱纹盘鲍群体 17 个个体均获得有效心率测 定结果。图 1 为个体心率随温度变化示意图,可以看 出不同温度下心率周期的明显差异。图 2 为高温耐 性和对照群体中的各一个个体心率变化曲线的直线 拟合,通过该直线拟合获得该个体的 ABT 指标。表 1 为 34 个个体心率测定结果与生长性状测定结果(部 分个体因死亡未记录)。计算获得两个群体的平均 ABT 指标,高温耐性群体为(28.18±0.45)℃;对照群 体为(27.75±0.56)℃。经 t 检验,两个群体的 ABT 存 在显著性差异,高温耐性组皱纹盘鲍的 ABT 显著高 于对照组, P 为 0.019。分析检测个体的生长性状与 ABT 的关系,发现只有壳高与 ABT 呈显著相关,相 关系数为 0.370, P 为 0.048。





Fig. 1 Variation in cardiac response to thermal stress in Pacific abalone



a. resistance individual; b. contrast individual; c. comparison of two different individuals

#### 研究论文・ が の ARTICLE

表 1	高温耐性与对照群体皱纹盘鲍 ABT(℃)与生长性状
-----	---------------------------

Tab. 1 ABT and growth traits of resistant and contrast abalones

群体	売长(mm)	売高(mm)	売宽(mm)	质量(g)	ABT(℃)
高温耐性	37.68	24.04	9.85	6.57	28.20
高温耐性	39.05	26.33	9.63	6.78	27.31
高温耐性	38.51	25.89	10.35	7.98	29.04
高温耐性	36.55	25.23	8.14	6.02	28.50
高温耐性	36.44	24.20	7.82	4.96	27.57
高温耐性	42.10	26.57	10.72	8.91	28.28
高温耐性	31.91	22.47	7.67	4.56	28.06
高温耐性	42.35	29.52	12.11	10.11	28.70
高温耐性	39.12	26.21	9.77	7.66	27.88
高温耐性	44.17	31.09	11.37	11.77	28.65
高温耐性	37.87	28.13	10.33	8.77	27.84
高温耐性	43.00	28.96	14.10	11.79	28.71
高温耐性	45.40	29.56	15.58	11.13	28.23
高温耐性	34.14	23.35	8.01	5.18	28.35
高温耐性	—	—	—	—	27.85
高温耐性	—	—	—	—	27.89
高温耐性	—	—	—	—	27.99
对照	36.92	24.36	8.14	5.92	27.07
对照	36.16	24.08	8.09	5.42	27.65
对照	38.92	27.04	8.49	6.73	27.08
对照	42.23	27.65	9.68	8.78	28.24
对照	43.18	30.56	10.17	10.20	28.22
对照	43.33	29.35	10.71	10.56	27.94
对照	40.36	27.28	8.61	6.79	27.97
对照	47.32	31.50	10.80	11.98	28.22
对照	51.31	33.46	10.86	15.05	27.46
对照	45.21	31.31	9.54	10.34	27.78
对照	49.90	34.33	13.53	13.34	27.88
对照	48.97	31.96	12.47	12.59	28.29
对照	36.77	25.43	8.81	6.31	27.61
对照	36.42	25.34	8.47	5.49	28.52
对照	46.60	31.10	14.01	12.33	28.22
对照	—	—	—	—	26.42
对照	—	—	—	—	27.14

## 3 讨论

### 3.1 皱纹盘鲍 ABT 指标的可行性分析

ABT 指标在滨螺、帽贝和贻贝中已有广泛研究。 这些贝类大多都是潮间带生物,它们多具有广温性 的特点,有利于 ABT 指标的测定。以帽贝为例,温 度适宜范围从 4~50℃,且不同物种之间的差异明显, 相差可达 5℃以上。ABT 指标对于帽贝而言,不仅可 以衡量其高温耐受程度,更可作为一个环境监测指 标反映不同种帽贝所处环境条件的差异<sup>[20]</sup>。虽然皱 纹盘鲍不具备广温性,但本实验证明了该方法在皱 纹盘鲍中的可行性。首先,两个群体的 ABT 指标的 标准差均不高说明 ABT 指标的组内个体间差异不 大。其次,高温耐性组 ABT 显著高于对照组,因此 用于比较两个群体的高温耐受程度是科学可行的。 值得注意的是一龄个体是最适合开展心率测定的, 由于一龄个体体积较小(平均壳长为 40 mm),心脏对 应位置壳表面积小于红外探头截面(4 mm×5 mm), 可以快速稳定获得心率信号。而蓝丁胶的粘贴需要 将鲍鱼壳表面擦干以增加粘贴时长,一龄个体有利 于缩短捕获心率的时间。所以一龄个体更适合进行 心率测定实验。通过红外探头粘贴在鲍鱼壳表面以 检测心率的方法也是皱纹盘鲍的生长指标中只有壳 高与心率存在显著相关的主要原因,壳高会直接影 响到心率信号的获取。

开展心率测定的时间是影响实验的重要因素。 皱纹盘鲍的最适生长温度范围是 10~22℃<sup>[21]</sup>, 监测 皱纹盘鲍心率的起始温度必须在该温度范围内, 且 起始温度越低越好。因为计算 ABT 指标过程中, 心 率随温度上升而上升的阶段越长, 趋势线的计算越 准确。所以在水温低的时候, 如 11 月至 2 月, 是进 行心率测定的最佳时间。测定心率时还应注意实验 时长的控制, 本实验每个个体的心率测定时间均控 制在 2 h 以内, 毕竟是在水浴条件内进行实验, 并且 还会出现超过 ABT 后的心率骤降现象, 作为一种非 损伤性的检测方法, 实验动物的存活是也关键的考 量。虽然本实验有部分个体在测定心率后出现了死亡, 但相比传统的表型记录为生存与否以评估高温耐受 程度的方法, 已经大幅提高了实验动物的存活率。

然而并非所有贝类生物都适用这一方法。本实 验室亦用这一方法对长牡蛎(Crassostrea gigas)和虾 夷扇贝(Patinopecten yessoensis)进行心率测定。结果 扇贝可以得到有效结果,而牡蛎难以得到有效的心 率信号,可能与牡蛎表面粗糙有关。

### 3.2 皱纹盘鲍 ABT 指标的实际应用

本实验选取的是两个来源清晰,能够区分高温 抗性与对照的群体进行 ABT 指标的测定。结果与实 际相符不仅说明了方法的可行性,也为该方法作为 比较群体或家系的高温耐受程度的标准提供可能。 很多品系的皱纹盘鲍经过杂交育种后,品质得到改 良<sup>[22-23]</sup>,但高温耐受能力作为存活率的关键指标却 无法合理科学的量化。心率测定 ABT 指标的方法有 效的改善这一问题,比较多个家系间皱纹盘鲍的 ABT 指标就可以比较这些家系的高温耐受程度,以 此作为一种筛选手段,亦可作为育种值,针对高温 耐性进行选育。该方法不仅快速有效,还对实验动物 具有较低致死性,可以解决传统的胁迫致死检测法 对一些珍贵的家系无法测定高温耐受能力的困扰。

目前主要养殖海区的水温监测系统已经开始使 用,结合皱纹盘鲍 ABT 指标的推广,可以在海水温 度迫近养殖鲍鱼耐受临界温度时及时调整养殖活动,

### 降低皱纹盘鲍出现严重的度夏死亡的风险。

### 参考文献:

- 吴富村,张国范. 皱纹盘鲍杂交幼鲍闽东内湾度夏初 探[J]. 海洋科学, 2009. 33(10): 9-14.
   Wu Fucun, Zhang Guofan. Preliminary study on over-summering of juvenile hybrid Pacific abalone in east Fujian inner bay[J]. Marine Sciences, 2009, 33(10): 9-14.
- [2] You W, Guo Q, Fan F, et al. Experimental hybridization and genetic identification of Pacific abalone *Haliotis discus hannai* and green abalone *H. fulgens*[J]. Aquaculture, 2015, 448: 243-249.
- [3] Soletchnik P, Le Moine O, Faury N, et al. Summer mortality of the oyster in the Bay Marennes-Oleron: Spatial variability of environment and biology using a geographical information system (GIS)[J]. Aquatic Living Resources, 1999, 12(2): 131-143.
- [4] Berthelin C, Kellner K, Mathieu M. Histological Characterization and Glucose Incorporation into Glycogen of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* Storage Cells[J]. Marine Biotechnology, 2000, 2(2): 136-145.
- [5] Cheney D P, MacDonald B F, Elston R A. Summer mortality of Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg): Initial findings on multiple environmental stressors in Puget Sound, Washington, 1998[J]. Journal of Shellfish Research, 2000, 19(1): 353-359.
- [6] Wang X, Wang L, Yao C, et al. Alternation of immune parameters and cellular energy allocation of *Chlamys farreri* under ammonia-N exposure and *Vibrio anguillarum* challenge[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2012, 32(5): 741-749.
- [7] Friedman C S, Estes R M, Stokes N A, et al. Herpes virus in juvenile Pacific oysters *Crassostrea gigas* from Tomales Bay, California, coincides with summer mortality episodes[J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2005, 63(1): 33-41.
- [8] Garnier M, Labreuche Y, Garcia C, et al. Evidence for the Involvement of Pathogenic Bacteria in Summer Mortalities of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas*[J]. Microbial Ecology, 2007, 53(2): 187-196.
- [9] 房沙沙,林壮炳,邱礽,等. 粤东养殖区分离的 2 株 海洋弧菌及其胞外产物对皱纹盘鲍致死毒性的初步 分析[J]. 海洋科学, 2013, 37(8): 16-22.
  Fang Shasha, Lin Zhuangbing, Qiu Reng, et al. The pathogenicities of two Vibrio bacteria and their extracellular products in the Pacific abalone, Haliotis discus hannai farmed in East Guangdong area[J]. Marine Sciences, 2013, 37(8): 16-22.
- [10] 张其中, 邱马银, 吴信忠, 等. 热休克诱导近江牡蛎 对高温的耐受性[J]. 生态科学, 2005, 24(1): 35-37.



Zhang Qizhong, Qiu Mayin, Wu Xinzhong, et al. Heat pretreatment induces thermotolerance in the Jinjiang oyster (*Crassostrea ariakensis* Gould) [J]. Ecological Science, 2005, 24(1): 35-37.

- [11] 郝振林,刘京哲,唐雪娇,等.高温下 3 种壳色虾夷扇贝存活率、代谢率、免疫酶活力及 HSP70 表达的比较研究[J].海洋科学,2015,39(11).
  Hao Zhenlin, Liu Jingzhe, Tang Xuejiao, et al. A comparative study of survival, metabolism, immune indicators and HSP70 expression in three kinds of shell colors Japanese scallop Mizuhopecten yessoensis under high temperature stress [J]. Marine Sciences, 2015, 39(11).
- [12] 贾艳丽,王江勇,刘广锋,等.高温胁迫对皱纹盘鲍 幼鲍生长和成活的影响[J].南方水产科学,2015(2): 96-100.

Jia Yanli, Wang Jiangyong, Liu Guangfeng, et al. Effect of high temperature stress on growth and survival of juvenile *Haliotis discus hannai* Ino[J]. South China Fisheries Sciences, 2015(2): 96-100.

- [13] Depledge M H, Andersen B B. A computer-aided physiological monitoring system for continuous, long-term recording of cardiac activity in selected invertebrates[J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part A Physiology, 1990, 96(4): 473-477.
- [14] Stillman J, Somero G. Adaptation to temperature stress and aerial exposure in congeneric species of intertidal porcelain crabs (genus *Petrolisthes*): correlation of physiology, biochemistry and morphology with vertical distribution[J]. Journal of Experimental Biology, 1996, 199(Pt8): 1845-1855.
- [15] Marshall D J, Dong Y W, McQuaid C D, et al. Thermal adaptation in the intertidal snail Echinolittorina malaccana contradicts current theory by revealing the crucial roles of resting metabolism[J]. Journal of Experimental Biology, 2011, 214(Pt 21): 3649-3657.
- [16] Dong Y-w, Williams G A. Variations in cardiac per-

formance and heat shock protein expression to thermal stress in two differently zoned limpets on a tropical rocky shore[J]. Marine Biology, 2011, 158(6): 1223-1231.

- [17] Chelazzi G, Williams G A, Gray D R. Field and laboratory measurement of heart rate in a tropical limpet, *Cellana grata*[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1999, 79(4): 749-751.
- [18] Han G D, Zhang S, Marshall D J, et al. Metabolic energy sensors (AMPK and SIRT1), protein carbonylation and cardiac failure as biomarkers of thermal stress in an intertidal limpet: linking energetic allocation with environmental temperature during aerial emersion[J]. Journal of Experimental Biology, 2013, 216(Pt 17): 3273-3282.
- [19] 梁羡园. 鲍鱼的解剖[J]. 生物学通报, 1959, 2: 62-68.
   Liang Xianyuan. Anatomy of abalone[J]. Bulletin of Biology, 1959, 2: 62-68.
- [20] Prusina I, Sarà G, De Pirro M, et al. Variations in physiological responses to thermal stress in congeneric limpets in the Mediterranean Sea[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2014. 456: 34-40.
- [21] Hara M, Sekino M. Genetic difference between Ezo-awabi Haliotis discus hannai and Kuro-awabi H.discus discus populations: Microsatellite-based population analysis in Japanese abalone[J]. Fisheries Science, 2005. 71(4): 754-766.
- [22] Liang S, Luo X, You W, et al. The role of hybridization in improving the immune response and thermal tolerance of abalone[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2014. 39(1): 69-77.
- [23] 张国范,刘晓,阙华勇,等.贝类杂交及杂种优势理 论和技术研究进展[J]. 海洋科学,2004,28(7):54-60. Zhang Guofan, Liu Xiao, Que Huayong, et al. The theory and application of hybridization and heterosis in marine mollusks[J]. Marine Sciences, 2004, 28(7): 54-60.



# Variation in cardiac response to thermal stress in two different cultured populations of Pacific abalones

## LIN Si-heng<sup>1, 2, 3, 4</sup>, WU Fu-cun<sup>1, 3, 4</sup>, ZHANG Guo-fan<sup>1, 3, 4</sup>

(1. Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 7 Nanhai Road, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China; 4. National & Local Joint Engineering Laboratory of Ecological Mariculture, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

**Received:** Feb.10, 2016 **Key words:** *Haliotis discus hannai*; measuring heart rate; thermal stress; Arrhenius break temperatures

Abstract: High water temperature is one of the most important reasons for the low summer survival rate of Pacific abalones (*Haliotis discus hannai*). The temperature that induces cardiac failure in abalone is known as the Arrhenius break temperature (ABT). Survival indicators of Pacific abalones can be obtained by measuring their heart rate. In this study, heart rates were measured using a non-invasive method. We then obtained ABTs as biomarkers and used them to determine the heat resistance of abalones with high accuracy and speed. Abalone heart rates rose as the temperature increased and then dropped abruptly. In this study, we measured the heart rate in 17 resistant abalones and 17 contrast abalones from two different groups. The results indicate that the ABT of the resistant abalones seemed higher (P<0.05) than that of the contrast abalones. In addition, there was a significant (P<0.05) positive correlation between abalone shell height and ABT. For the first time, we determined the heat resistance of Pacific abalones by measuring heart rate and verified the feasibility of the method.

(本文编辑:梁德海)