

# 恒温 and 周期性变温对鳊幼鱼自发运动的影响\*

彭静, 曾令清, 曹振东, 付世建

(重庆师范大学 进化生理与行为学实验室 动物生物学重点实验室, 重庆 401331)

**摘要:**鱼类在自然生境中经常会遭遇环境温度变动状况,为考察温度对鱼类自发运动的影响,将鳊(*Parabramis pekinensis*)幼鱼分别在3个恒温水体(15, 20, 25 °C)和1个周期性变温水体((20±5) °C)中驯化30 d后,对实验鱼的自发运动进行20 min的拍摄,然后对视频数据进行分析,获取包括运动时间、静止时间、总路程、平均速度、运动时间比、实验水槽外周活动时间、中心活动时间等评价实验鱼自发运动的相关指标。结果显示:各处理组的外周活动时间均显著高于中心活动时间( $p < 0.05$ ),并且静止时间也显著高于运动时间( $p < 0.05$ ),但各温度处理组之间的各个自发运动指标均无显著差异。与高温组相比,低温条件下鳊幼鱼运动时间比并未显著下降,这可能与鳊在低温下保持较高的稳定游泳能力和较高的活跃状态有关。

**关键词:**周期性变温;温度驯化;自发运动;运动时间比;鳊

**中图分类号:**Q958.118

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2016)03-0027-04

温度是水生态系统的重要生态因子,对水生动物的生理功能和行为活动有显著影响<sup>[1-2]</sup>。由于全球气候变暖、季节更替和人为的影响,自然界中水体温度会出现偶然或周期性的波动。鱼类的温度敏感性和顺从性较强,故而环境温度的变化不可避免地会对鱼类的生命活动产生重要影响。研究发现鱼类的摄食水平<sup>[3]</sup>、代谢调节<sup>[3-4]</sup>、温度耐受性、生长性能<sup>[5]</sup>等方面均明显受到温度的影响。此外,温度升高导致鱼类呼吸速率升高、呼吸能力增大和游泳能力增强<sup>[3,6-7]</sup>。

自发运动(Spontaneous activity)又称日常活动水平,它反映在无外界环境刺激条件下动物自发活动的状态;鱼类的自发运动与其觅食、迁移和寻找配偶等行为密切相关<sup>[8-9]</sup>。现有研究主要采用单位时间内的移动距离、移动速度、尾鳍平均摆动次数、运动时间比等作为鱼类自发运动的评价指标<sup>[8-11]</sup>。与其他类型游泳运动一样,鱼类的自发运动也易遭受外界环境因素的干扰,例如温度、溶氧、捕食压力、饥饿等。研究发现鲤(*Cyprinus carpio*)幼鱼的运动时间比随温度升高而显著降低,并且饥饿导致该种鱼的运动时间比显著下降<sup>[8]</sup>;而对大西洋鲑(*Salmo salar*)的研究发现温度升高导致自发运动增加<sup>[9]</sup>。因此,有必要对更多的鱼类进行温度对自发运动影响的研究。

三峡库区水体温度随着季节更替有明显的波动,近些年来冬季水温在12~15 °C之间而夏季水温在22~25 °C之间<sup>[11]</sup>。与建坝之前相比,三峡大坝的修建导致冬季平均水温上升了2 °C<sup>[11]</sup>。鳊(*Parabramis pekinensis*)是三峡库区常见的鱼类之一。最新研究显示,鳊较其他鱼类对温度更为敏感<sup>[5,12]</sup>,且低温下仍保持较高的稳定游泳能力<sup>[5]</sup>。为考察恒温和变温驯化对鲤科(Cyprinidae)鱼类自发运动的影响,本研究以鳊为实验对象,在经过30 d的恒温和周期性变温驯化后拍摄实验鱼自发运动20 min,进而考察温度对外周区域和中心区域的停留时间、运动和静止时间、运动总路程和平均速度以及运动时间比的影响,从而为鱼类生理生态学研究累积资料。

## 1 材料方法

### 1.1 实验鱼来源与驯养

实验鱼购于四川省水产学校,于本实验室循环控温水槽中适应性驯养14 d。驯养条件:水温(20±0.5) °C,

\* 收稿日期:2015-08-18 修回日期:2016-03-09 网络出版时间:2016-04-29 18:37

资助项目:国家自然科学基金(No. 31172096; No. 31300341);重庆市自然科学基金(No. cstc2013jjB20003; No. cstc2014jcyjA00018);重庆市教委科技项目(No. KJ130619)

作者简介:彭静,女,研究方向为鱼类生理生态学,E-mail: pengjing5689@foxmail.com;通信作者:付世建,教授,E-mail: shijianfu9@hotmail.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20160429.1837.024.html>

全光照,驯养用水为除氯后的自来水,溶氧量高于  $7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,日换水量约 10%。每日饱足投喂 2 次,喂食时间分别 9:00,19:00。投食 1 h 后,用虹吸管清除剩余饲料和粪便以维持养殖水体质量。

## 1.2 实验方案与操作方法

1.2.1 实验方案 驯养结束后,挑选出 120 尾鱼体健康且大小接近的实验鱼作为实验对象,体质量为  $(7.24 \pm 0.24) \text{ g}$ ,体长为  $(7.4 \pm 0.1) \text{ cm}$ 。将鱼随机分成 4 组,每组 30 尾。其中 3 组分别饲养在 15, 20, 25 °C 等 3 个不同的恒温水体中;1 组饲养在 1 个  $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$  周期性变温水体中,8:30~20:30 水温为 25 °C,20:30~次日 8:30 水温为 15 °C,水体两个温度的完全转换大约需要 4 h。所有处理均进行 30 d,其余驯化条件和喂食情况与之前 14 d 的驯养条件一致。驯化结束后,随机挑选实验鱼进行自发活动拍摄并对所获视频进行自发活动参数分析。

1.2.2 自发运动的测定 驯化结束后,在每个温度处理组中随机挑选 8 尾实验鱼单独转移至独立的直径为 35 cm,水深为 20 cm 圆形水槽中,适应 1 h 后用摄像头连续拍摄实验鱼活动 20 min。采用 Noldus 动物运动轨迹跟踪系统(EthoVision XT 9.0, Noldus, Netherlands)将实验鱼的活动区域划分为外周和中心区域两部分,此两区域为同心圆,且中心区域直径为外周区域的一半。通过软件可以分析实验鱼 20 min 内,分别在外周和中心区域停留的时间,以及整个过程中运动的总路程、运动和静止时间;同时通过上述指标计算出运动过程中的平均速度和运动占总过程的时间比(简称运动时间比)。

## 1.3 数据统计

用 Excel 对实验数据进行常规计算,采用 SPSS 17.0 软件进行数据统计分析。温度对各自发活动参数的差异采用单因素协方差分析(以体长为协变量)。统计数据均以“平均值±标准误”表示,显著水平为  $p < 0.05$ 。

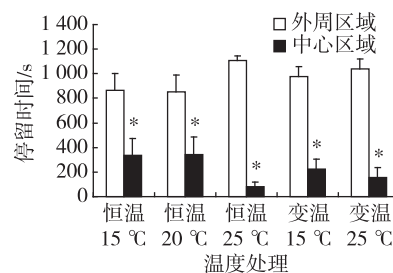
## 2 结果

### 2.1 温度驯化对鳊鱼幼鱼在不同区域停留时间的影响

温度驯化对鳊鱼幼鱼在外周或中心区域活动时间无显著影响(图 1)。随着温度的升高,15, 20, 25 °C 恒温组实验鱼在外周停留时间占总时间百分比依次为 72%, 71% 和 93%, 变温组在 15 °C 条件测定时为 81%, 25 °C 条件时为 87%。此外,各温度组中实验鱼在外周区域停留时间均显著长于中心区域( $p < 0.05$ )。

### 2.2 温度驯化对鳊鱼幼鱼运动总路程、运动时间比和平均速度的影响

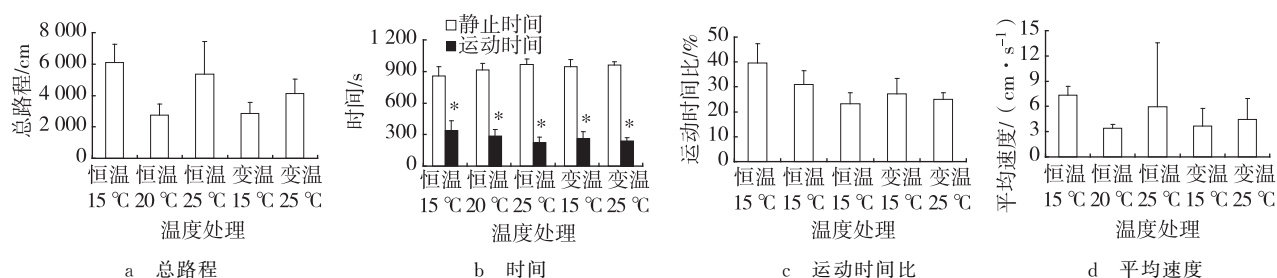
各温度驯化组中,实验鱼在 20 min 内运动的总路程之间无显著差异(图 2a),运动时间和静止时间也均无显著差异,但各温度组中实验鱼的运动时间均显著低于静止时间( $p < 0.05$ )(图 2b)。随着温度的升高,15, 20, 25 °C 恒温组的运动时间比分别为 28%、24% 和 19%, 变温组在 15 °C 条件测定时为 21%, 25 °C 条件时为 20%(图 2c)。各温度处理组中根据实验鱼在 20 min 内的运动总路程和运动时间计算而得的平均速度之间无显著差异(图 2d)。



注:表示各温度组中实验鱼在外周区域和中心区域停留时间有显著差异, $p < 0.05$ 。

图 1 温度对鳊幼鱼外周活动时间和中心活动时间的的影响

Fig. 1 The effects of temperature treatments on the activity time of the periphery area and central area in juvenile *P. pekinensis*



注:表示各温度组中实验鱼的运动时间和静止时间有显著差异, $p < 0.05$ 。

图 2 温度对鳊幼鱼总路程、运动时间、静止时间、运动时间比和平均速度的影响

Fig. 2 The effects of temperature treatments on the total movement distance, time spending on moving and resting, percent time spending on moving and average swimming speed in the juvenile *P. pekinensis*

## 3 讨论

### 3.1 鳊幼鱼偏好的运动区域

由于生存环境和生态习性的差异,鱼类对水体流速<sup>[13]</sup>、运动方向<sup>[14-15]</sup>等行为存在种类特异性的偏好,不同种类鱼类所偏好的水体活动区域也不尽相同。如杂食性的草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)会常在生活区域内游动主动寻找食物;而底栖性鱼类南方鲇(*Silurus meridionalis*)的隐匿行为就较为明显<sup>[10]</sup>;瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)在有光照补偿的条件下,在黑色底质区域所停留的时间更长<sup>[16]</sup>。本研究中,各温度处理组中的实验鱼均偏好外周区域,由此推测鱼类在摄食和生存之间可能存在权衡。在开阔水体的中心区域可能食物资源更丰富,但由于暴露在中心区域被捕食的风险也更大,因此鳊鱼可能更偏向于选择有一定食物资源但被捕食风险较小的外周区域。此外,上述现象还可能与实验鱼试图逃离新异环境、内外区域的面积大小等因素有关。

### 3.2 温度对鳊幼鱼自发运动的影响

前期研究发现鲤幼鱼在15℃时的运动时间比显著高于25℃<sup>[8]</sup>,而本研究中当温度由15℃上升至25℃时,尽管3个恒温温度组之间的运动时间比呈下降趋势,但并无显著差异。研究发现生活于高捕食压环境条件下的宽鳍鱮(*Zacco platypus*),移动距离显著下降<sup>[18]</sup>,然而本研究中所有实验鱼的总路程均无显著差异,可见温度驯化对鳊鱼自发运动移动距离无显著影响,这也导致各温度驯化组的平均游泳速度没有显著差异。上述结果提示鳊幼鱼在低温下的游泳运动并未减少,这与另一有趣的实验现象相呼应,即尽管多数鱼类在低温下稳定游泳能力呈现出显著下降的状态<sup>[3,17-18]</sup>;然而鳊因低温下的游泳效率更高,导致它在低温下仍旧保持了较高的稳定游泳能力<sup>[5]</sup>。另外有研究表明低温下鳊的鳃并未表现出形态的变化,然而其他众多的鲤科鱼类低温下鳃表面积明显减少<sup>[19]</sup>;同时鳊在低温下还保持了大部分的呼吸能力以及较高的组织乳酸清除率和乳酸耐受能力<sup>[12]</sup>;且对鳊鱼热耐受的研究发现,相较于热(高温)耐受能力,其冷(低温)耐受能力可塑性较强<sup>[5]</sup>,因此低温可能对此物种游泳能力的影响较小。

尽管周期性变温驯化使鳊鱼幼鱼的耐受幅更宽,也可以提高其心鳃功能和摄氧能力<sup>[5]</sup>,但本研究中周期性变温组实验鱼20 min内移动的总路程、运动时间比和平均速度均与其他3个恒温组无显著差异,均介于15℃和25℃组之间,表明周期性的变温驯化对鳊鱼幼鱼自发运动无显著影响,即前期周期性的变温使实验鱼可在短期内迅速调节体内环境以适应变温的环境。

### 参考文献:

- [1] Temple J K, Johnston I A. The thermal dependence of fast-start performance in fish[J]. *Journal of Thermal Biology*, 1997, 22(6): 391-401.
- [2] Lee C G, Farrell A P, Lotto A, et al. The effect of temperature on swimming performance and oxygen consumption in adult sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon stocks[J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2003, 206(18): 3239-3251.
- [3] Pang X, Cao Z D, Fu S J. The effects of temperature on metabolic interaction between digestion and locomotion in juveniles of three cyprinid fish (*Carassius auratus*, *Cyprinus carpio*, *Spinibarbus sinensis*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2011, 159(3): 253-260.
- [4] Luo Y P, Xie X J. Effects of temperature on specific dynamic action of the southern catfish *Silurus meridionalis* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2008, 149(2): 150-156.
- [5] Peng J, Cao Z D, Fu S J. The effects of constant and diel-fluctuating temperature acclimation on the thermal tolerance, swimming capacity, specific dynamic action and growth performance of juvenile Chinese bream[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2014, 176(1): 32-40.
- [6] Robertson R F, Meagor J, Taylor E W. Specific dynamic action in the shore crab, *Carcinus maenas* (L.), in relation to acclimation temperature and to the onset of the emersion response[J]. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2002, 75(4): 350-359.
- [7] Secor S M, Wooten J A, Cox C L. Effect of meal size, meal type, and body temperature on the specific dynamic action of anurans[J]. *Journal of Comparative Physiology B*, 2007, 177(2): 165-182.
- [8] 付成, 曹振东, 付世建. 温度和饥饿对鲤鱼幼鱼静止代谢率及自发运动的影响[J]. *动物学杂志*, 2012, 47(2): 85-90.  
Fu C, Cao Z D, Fu S J. The influence of temperature and starvation on resting metabolic rate and spontaneous activity in juvenile *Cyprinus carpio* [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2012, 47(2): 85-90.
- [9] Peterson R H, Anderson J M. Influence of temperature change on spontaneous locomotor activity and oxygen consumption of Atlantic salmon, *Salmo salar*, acclimated to two temperature[J]. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 1969, 26(1): 93-109.

- [10] Fu S J, Zeng L Q, Li X M, et al. The behavioural, digestive and metabolic characteristics of fishes with different foraging strategies[J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2009, 212(14): 2296-2302.
- [11] Sun D M, Tian H F, Zhang H, et al. Monitoring of water temperature and changing relationship between the water temperature and air temperature in the Yangtze river[J]. *Building Energy Efficiency*, 2010, 38(238): 74-77.
- [12] He W, Cao Z D, Fu S J. Effect of temperature on hypoxia tolerance and underlying biochemical mechanism in two juvenile cyprinids with different hypoxia sensitivity[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2014, 187(1): 232-241.
- [13] Tudorache C, O'Keefe R A, Benfey T G. Optimal swimming speeds reflect preferred swimming speeds of brook charr (*Salvelinus fontinalis* Mitchell, 1874) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2011, 37(2): 307-315.
- [14] 彭静, 曹振东, 付世建. 中华鲮逃逸运动的方向偏好[J]. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2014, 31(4): 26-29.  
Peng J, Cao Z D, Fu S J. The locomotive lateralization and its stability of *Rhodeus sinensis* Gunther[J]. *Journal of Chongqing Normal University: Natural Science*, 2014, 31(4): 26-29.
- [15] 彭静, 曹振东, 付世建. 中华倒刺鲃幼鱼逃逸运动的方向偏好及其稳定性[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(5): 1248-1252.  
Peng J, Cao Z D, Fu S J. The lateralization of escape movement and its stability in juvenile *Spinibarbus sinensis* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(5): 1248-1252.
- [16] Fu C, Fu S J, Cao Z D, et al. Habitat-specific anti-predator behavior variation among pale chub (*Zacco platypus*) along a river [J]. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 2015, 48(4): 267-278.
- [17] Zeng L Q, Cao Z D, Fu S J, et al. Effect of temperature on swimming performance in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2009, 153(2): 125-130.
- [18] Yan G J, He X K, Cao Z D, et al. The trade-off between steady and unsteady swimming performance in six cyprinids at two temperatures[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2012, 37(6): 424-431.
- [19] 陈波见. 温度对六种鲤科鱼类临界氧压和鳃部形态结构的影响[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2011.  
Chen B J. The effect of temperature on critical oxygen tension ( $P_{crit}$ ) and gill morphology in six carps [D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2011.

## Animal Sciences

### The Effects of Constant and Diel-fluctuating Temperature Acclimation on the Spontaneous Activity in Juvenile *Parabramis pekinensis*

PENG Jing, ZENG Lingqing, CAO Zhendong, FU Shijian

(Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior, Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** Fish are usually facing the fluctuating temperature in natural water body. The present study was aimed to investigate the effects of diel-fluctuating and constant temperature acclimation on spontaneous activity level in the juvenile Chinese bream (*Parabramis pekinensis*). The temperature treatments included three stable temperature groups (15, 20, and 25 °C) and one constant temperature group ((20±5) °C), and all temperature treatments was acclimated for 30 days. After the acclimation, fish from each group was videoed for 20 minutes and these videos were analyzed to evaluate the spontaneous activity of experimental fish with parameters including activity time, resting time, total movement distance, average swimming speed, percent time spent on moving, time spent on periphery area and time spent on central area. The results of present study showed that there were no significant differences in any of the above mentioned parameters among these temperature treatment groups. However, the time spent on periphery area was significantly longer than the time spent on central area within each of the temperature treatment groups. Furthermore, the resting time was also significantly longer than the activity time within each of the temperature treatment groups. Our study suggests that low temperature acclimated fish showed no decrease of the percent time spent on moving compared to the high temperature acclimated individuals, which might be related to the maintaining of their steady swimming performance to a great extent under low temperature which is not agreed with most of the published data in other cyprinids.

**Key words:** diel-fluctuating temperature; temperature acclimation; spontaneous activity; percent time spent on moving; *Parabramis pekinensis*

(责任编辑 方 兴)