

# 食蚊鱼(*Gambusia affinis*)响应气候变暖的培养实验

黄傲翔<sup>1,2\*</sup>, 韩佳欣<sup>1,2\*</sup>, 柴家颖<sup>1,2</sup>, 田力<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北 武汉

<sup>2</sup>中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年4月25日; 录用日期: 2024年5月24日; 发布日期: 2024年5月31日

## 摘要

气候变暖是影响人类生存和社会发展的重大自然挑战, 通过研究不同温度气候条件下生物的生态和形态差异, 从而精准预测生物对未来持续升温的响应, 是宜居地球可持续发展的关键。本研究通过对食蚊鱼(*Gambusia affinis*)进行控温培养六个月, 观察其在26°C、28°C和30°C水温条件下培养形态和生态上的差异, 来预测未来持续变暖情境下入侵鱼类对本土淡水物种多样性的潜在影响。实验结果显示高温组样本体长小, 符合伯格曼法则。根据实验结果可以预测: 未来不同强度气候变暖背景下, 食蚊鱼形态会产生明显差异, 升温2°C和4°C的情境, 平均体长分别会减小18%和26%左右。作为一种喜食鱼卵的小型入侵鱼类, 食蚊鱼显示出非常快速的高温适应能力, 这可能会助其种群随着未来气候变暖进一步扩张, 对本土鱼类的多样性和淡水生态系统产生更大威胁。

## 关键词

气候变化, 升温培养, 淡水鱼类, 入侵物种, 伯格曼法则

# Culture Experiment of *Gambusia affinis* for Predicting Its Morphological Response to Climate Warming

Aoxiang Huang<sup>1,2\*</sup>, Jiaxin Han<sup>1,2\*</sup>, Jiaying Chai<sup>1,2</sup>, Li Tian<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan Hubei

<sup>2</sup>School of Environment, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan Hubei

Received: Apr. 25<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 24<sup>th</sup>, 2024; published: May 31<sup>st</sup>, 2024

\*共同第一作者, 贡献相同。

#通讯作者。

文章引用: 黄傲翔, 韩佳欣, 柴家颖, 田力. 食蚊鱼(*Gambusia affinis*)响应气候变暖的培养实验[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(3): 665-670. DOI: 10.12677/ccrl.2024.133075

## Abstract

Climate warming is a major natural challenge to future human survival and social development. Precise predictions on the biotic responses to continuing warming play key roles the potential adaptions. This research conducted temperature-controlled (26°C, 28°C and 30°C) culture experiments on the *Gambusia affinis* for six months, observing their morphological and ecological variations, for predicting the impact on freshwater ecosystem by invasive fishes under future climatic warming. The results show that the size (body lengths) of the individuals in higher temperatures is smaller than the group of lower temperature, in agreement with the Bergmann's rule. Thus, we predict that: the mean size of *Gambusia affinis* would decrease 18.0% and 26% for temperature rise of 2°C and 4°C, respectively. As a small-sized fish eggs predator, *Gambusia affinis* show rapid morphological and ecological adaptions to higher temperatures, implying huge challenge to the future protection on local fishes and freshwater ecosystem under future global warming scenarios.

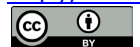
## Keywords

Climate Change, Temperate Culture, Freshwater Fishes, Invasive Species, Bergmann's Rule

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

气候变暖是影响人类生存和社会发展最重要的自然挑战, 而且严重威胁着生物圈和地球系统的可持续发展[1]。工业革命以来 1°C左右的变暖, 被认为已经对现代生物物候、分布范围和群落结构等产生了显著影响[2] [3] [4] [5]。精准预测持续的气候变暖对生物和生态的影响, 是人类适应和应对未来气候变化的关键[6]。最近有研究发现利用已知的经典生物地理法则可以预测生物对气候变暖的生态响应: 在未来气候持续变暖的情况下, 生物会发生体型变小(伯格曼法则)、颜色变深(格洛格法则)、附属物变大(艾伦法则)等一系列生态和形态适应[7]。特别是依据伯格曼法则推断的未来生物体型会变小, 被认为在很多门类生物中都会发生, 是生物对气候变暖产生最显著的形态响应[8] [9]。

然而, 纬度越高体型越大的伯格曼法则主要适用于恒温动物, 有很多研究发现在很多变温动物中并不适用[10] [11]。鱼类作为主要的变温脊椎动物, 是否符合伯格曼法则存在争议。例如, 有研究结果表明现代海洋鱼类的大小与纬度的关系比较复杂, 呈现出明显的区域和物种差异, 并不完全符合伯格曼法则[12] [13]。同时, 由于野外观测统计的生物地理分布的鱼类大小规律, 往往受到了温度、含氧量、水深和营养水平等一系列环境条件的综合影响[14], 温度是否起决定性作用存在很强的不确定性。综上所述, 预测鱼类大小对变暖的响应, 需要进一步对不同物种进行详细研究, 特别是控制温度为单一变量的培养实验对照。

目前鱼类形态与气候的关联相关研究主要集中在海洋物种, 淡水鱼类相关观测研究相对较少。食蚊鱼作为一种外来物种, 目前已经入侵到全球五十多个国家和地区[15], 而且由于其能够大量进食昆虫幼虫和其他水生动物的卵, 所以在淡水生态系统中扮演着重要角色[16] [17]。因此, 用实验培养来探究食蚊鱼在不同温度下的体型差异, 对预测未来气候变暖对本土鱼类多样性和淡水生态系统的影响有重要意义。

## 2. 材料与方法

食蚊鱼(*Gambusia affinis*)是一种属于鲮形(Cyprinodontiformes)胎鲮科(Poeciliidae)食蚊鱼属(*Gambusia*)的小型淡水鱼类,大小一般在1到5厘米之间,有时可达6厘米左右[18]。食蚊鱼通常呈银色,有时带有绿色的色调,散布着灰色和黑色的斑纹,有单一的背鳍、有多个鳍、和一个大而圆的尾鳍[19][20]。食蚊鱼是卵胎生鱼类,受精的卵子在体内发育为仔鱼产出[19][20][21][22]。食蚊鱼食性较广,属于杂食性鱼类,不仅取食藻类,也以其他动物的卵或幼体为食,适应性好,繁殖能力强,性成熟周期短,是理想的实验材料[23]。

此研究实验所用食蚊鱼来自中国地质大学(武汉)未来城校区内镜湖,实验于2021年11月~2022年6月在生物地质和环境地质国家重点实验室的海洋生态模拟实验室进行。实验选用尺寸为250 L培育缸1个;尺寸为15 L的实验组3个,各缸内均无任何水草或砂石。加热方式为温控开关和加热棒的组合,加热棒型号为森森500W JRB-250,温控开关为CZ0001数显智能高精度温控器,温控精度为1℃。食蚊鱼的培育温度恒定为24℃,实验组温度分别设置为26℃、28℃和30℃。食蚊鱼捕捞至实验室培育缸中,待鱼长势稳定之后,将怀孕母鱼捞出放入隔离盒中,待其产下幼鱼后,将幼鱼平均分为三组,放入不同温度梯度的实验缸中,统一投喂人工孵化的丰年虾,每两天投喂一次。

实验拍照选择活体拍照,从子缸中各随机捞取十条食蚊鱼,将其固定在实验台上的白色背景板上,固定实验台高度,调节灯光亮度并固定。样本拍照完成后,使用ImageJ软件的图片长度测量功能对其长度进行测量。测量结果使用Origin进行统计分析,生成长度箱线图。

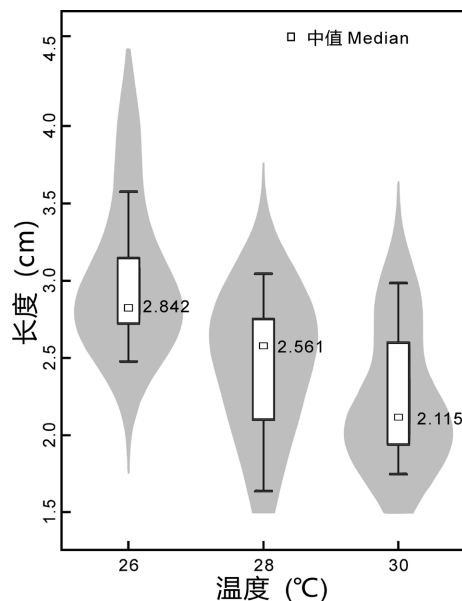
## 3. 结果

取自30℃实验缸的样本测量结果中的最大长度为2.983 cm,最小长度是1.746 cm,中间值为2.134 cm,其中50%的样本长度在1.939~2.600 cm之间;取自28℃实验缸的样本测量结果为最大长度3.044 cm,最小长度1.635 cm,中间值2.553 cm,其中50%的样本长度在2.101~2.750 cm之间;取自26℃实验缸的样本测量结果为,最大长度4.026 cm,最小长度2.467 cm,中间值2.868 cm,其中50%的样本长度在2.723~3.147 cm之间(图1)。

## 4. 讨论

伯格曼法则是指温度影响体型,寒冷环境(高海拔和高纬度)体型较大,温暖地区(低纬度)体型较小[24]。超过72%的鸟类和65%的哺乳动物遵循伯格曼法则,证明伯格曼法则是适用于鸟类和哺乳动物等恒温动物的有效的生态学概括[25]。南大洋斯科舍-威德尔区中上层横跨127个纬度梯度的鱼类体型,11种生物量优势种中的8种适用于伯格曼法则[13]。同时有研究证明北美淡水鱼不符合伯格曼法则:29种北美淡水鱼的最大体型与纬度、温度和海拔之间的关系并不明确[11]。以上研究结果表明,不同鱼类物种可能与气候温度的关联规律不同。此次培养实验结果显示,从26℃到30℃,随着温度升高食蚊鱼体长越来越小:最大值和中间值分别从4.026 cm和2.868 cm减小为2.983 cm和2.134 cm,与辐鳍鱼类(Actinopterygii)普遍符合伯格曼法则[12]的规律一致。值得注意的是,汪国静[26]的食蚊鱼升温培养实验中,高温组并没有出现与常温组明显的形态和生长速率差异,与此次实验呈现出不同的结果。结果差异可能与培养方法和实验对象的选择有关:汪国静[26]的培养在室外进行,有明显的昼夜和季节差异,且从成年个体开始培养。而本研究的实验采用了室内恒温的培养方法,从新生开始在不同温度中培养幼鱼,实验结果更能反映出温度对实验对象整个生长发育周期的影响。

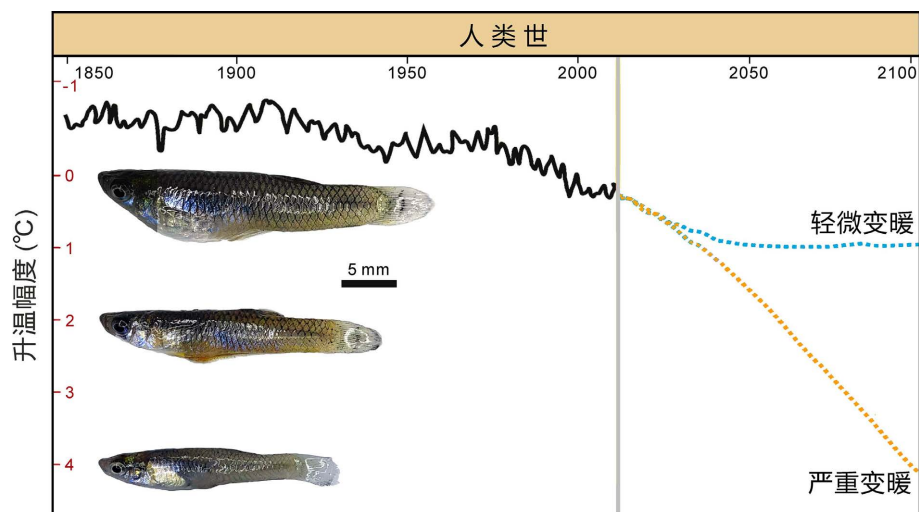
很多变温动物的体型,特别是鱼类,被认为受温度体型法则(TSR: the temperature-size rule)控制,在高温中会出现幼体生长快、性成熟早和成年体型较小的现象[27]。在此次实验中30℃子缸中在第120天



**Figure 1.** Whisker-boxes on the lengths of the cultured samples (sample richness showed by the violin-plot)

**图 1.** 样本长度统计图(相对样本丰度用灰色小提琴阴影标示)

就出现了怀孕个体,而在 26°C 子缸中实验结束时还未出现明显的怀孕个体,说明食蚊鱼也是一种典型的 TSR 类物种。[28]发现在温暖的温度下,食蚊鱼性成熟的更早,繁殖也更多:在较高的温度下每年可产生 6.5 代,相比于 20°C 时的每年 1.9 代的繁殖周期大大缩短。汪国静[26]的食蚊鱼实验显示,在高于环境温度 4°C 的情景下,食蚊鱼最早繁殖的时间比正常环境温度下的繁殖时间提前了 28 天。性早熟,可能也是高温组个体小的重要原因,而非代谢速率差异等其他方面的原因[29]。由此可见,随着全球变暖加剧食蚊鱼性成熟时间将明显缩短,进一步加速其繁殖速率,这一生态变化对其他本土物种,特别是本土鱼类的多样性可能会产生严重的负面影响。



**Figure 2.** Predicted size responses to the future warmings (modified from Tian & Benton [7], with the median sample photos)

**图 2.** 食蚊鱼大小对未来气候变暖的预测(温度记录修改自 Tian & Benton [7]; 食蚊鱼照片来自于本研究中三个实验组中的中位数标本照片)

依据传统的伯格曼法则, 气候变暖将导致生物体型变小[5] [8] [30]。本研究的结果也显示, 食蚊鱼的平均体长在升温 2°C 和 4°C 的生长环境中会分别减小 18.0% 和 31.8%, 性成熟时间将大大缩短。在中国, 食蚊鱼已遍布我国长江及整个南方水域, 甚至在北方水系中也有分布, 对我国本土的青鳉鱼类(*Oryzias spp.*)和唐鱼(*Tanichthys albonubes*)等多个土著鱼类造成了严重的负面影响, 这些土著鱼类的种群数量明显减小甚至在一些区域已经消失[16] [17]。已有研究表明, 青鳉在高温培养下(>31°C)会出现明显的生态和生理异常, 影响其生存和繁殖[31] [32]。鳊鱼和鲫鱼, 以及一些长江特有鱼类, 在高温(>30°C)条件下也会出现不同程度的生态行为异常[33]。相比之下, 由于食蚊鱼对高温能够产生快速的形态和生态响应, 因此可以推断其比一些本土物种更快的适应未来持续的气候变暖, 进一步加剧其对本土物种的威胁。

## 5. 结语

研究结果显示, 食蚊鱼的大小总体上符合伯格曼法则, 在控制温度为单一变量下食蚊鱼呈现随着温度升高体型减小的规律, 高温下的性早熟可能是食蚊鱼体长下降的重要原因。基于本实验结果预测(图 2), 未来如果温度继续升高 2°C, 食蚊鱼的平均长度大约会减小约 18% (0.54 cm), 如果温度升高 4°C, 那么食蚊鱼的平均长度将减小 26% (0.78 cm)。可以预见在未来气候持续变暖的情况下, 食蚊鱼对高温的快速生态适应能力, 会助长其入侵范围和强度, 对陆地淡水生态系统造成更大的威胁。

## 基金项目

国家自然科学基金(42030513)和中国地质大学(武汉)优秀青年团队培育计划项目。

## 参考文献

- [1] Lenton, T.M., Xu, C., Abrams, J.F., Ghadiali, A., Loriani, S., Sakschewski, B., Zimm, C., Ebi, K.L., Dunn, R.R., Svenning, J.-C. and Scheffer, M. (2023) Quantifying the Human Cost of Global Warming. *Nature Sustainability*, **6**, 1237-1247. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01132-6>
- [2] Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J., Hoegh-Guldberg, O. and Bairlein, F. (2002) Ecological Responses to Recent Climate Change. *Nature*, **416**, 389-395. <https://doi.org/10.1038/416389a>
- [3] Blois, J.L., Zarnetske, P.L., Fitzpatrick, M.C. and Finnegan, S. (2013) Climate Change and the Past, Present, and Future of Biotic Interactions. *Science*, **341**, 499-504. <https://doi.org/10.1126/science.1237184>
- [4] Parmesan, C. (1996) Climate and Species' Range. *Nature*, **382**, 765-766. <https://doi.org/10.1038/382765a0>
- [5] Chen, I., Hill, J.K., Ohlemüller, R., Roy, D.B. and Thomas, C.D. (2011) Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science*, **333**, 1024-1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432>
- [6] IPCC (2022) Climate Change 2022: Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- [7] Tian, L. and Benton, M.J. (2020) Predicting Biotic Responses to Future Climate Warming with Classic Ecogeographic Rules. *Current Biology*, **30**, R744-R749. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.06.003>
- [8] Sheridan, J.A. and Bickford, D. (2011) Shrinking Body Size as an Ecological Response to Climate Change. *Nature Climate Change*, **1**, 401-406. <https://doi.org/10.1038/nclimate1259>
- [9] Leiva, F.P., Calosi, P. and Verberk, W.C.E.P. (2019) Scaling of Thermal Tolerance with Body Mass and Genome Size in Ectotherms: A Comparison between Water- and Air-Breathers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **374**, Article 20190035. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0035>
- [10] Solokas, M.A., Feiner, Z.S., Al Chokachy, R., Budy, P., Deweber, J.T., Sarvala, J., Sass, G.G., Tolentino, S.A., Walsworth, T.E. and Jensen, O.P. (2023) Shrinking Body Size and Climate Warming: Many Freshwater Salmonids Do Not Follow the Rule. *Global Change Biology*, **29**, 2478-2492. <https://doi.org/10.1111/gcb.16626>
- [11] Belk, M.C. and Houston, D.D. (2002) Bergmann's Rule in Ectotherms: A Test Using Freshwater Fishes. *American Naturalists*, **160**, 803-808. <https://doi.org/10.1086/343880>
- [12] Fernández-Torres, F., Martínez, P.A. and Olalla-Tárraga, M.Á. (2018) Shallow Water Ray-Finned Marine Fishes Follow Bergmann's Rule. *Basic and Applied Ecology*, **33**, 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.09.002>

- [13] Saunders, R.A. and Tarling, G.A. (2018) Southern Ocean Mesopelagic Fish Comply with Bergmann's Rule. *The American Naturalist*, **191**, 343-351. <https://doi.org/10.1086/695767>
- [14] Fisher, J.A., Frank, K.T. and Leggett, W.C. (2010) Breaking Bergmann's Rule: Truncation of Northwest Atlantic Marine Fish Body Sizes. *Ecology*, **91**, 2499-2505. <https://doi.org/10.1890/09-1914.1>
- [15] 张登成, 熊文, 陶捐, 陈毅峰. 武汉地区西部食蚊鱼的生长、死亡系数及种群补充模式[J]. 生态学报, 2016, 36(2): 508-517.
- [16] 陈银瑞, 宇和纮, 褚新洛. 云南青鲮鱼类的分类和分布(鲮形目: 青鲮科) [J]. 动物分类学报, 1989(2): 239-246.
- [17] 陈国柱. 入侵种食蚊鱼与土著濒危物种唐鱼的种间关系研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 暨南大学, 2010.
- [18] Vondracek, B., Wurtsbaugh, W.A. and Cech, J.J. (1988) Growth and Reproduction of the Mosquitofish, *Gambusia affinis*, in Relation to Temperature and Ration Level: Consequences for Life History. *Environmental Biology of Fishes*, **21**, 45-57. <https://doi.org/10.1007/BF02984442>
- [19] Pyke, G.H. (2005) A Review of the Biology of *Gambusia affinis* and *G. holbrooki*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **15**, 339-365. <https://doi.org/10.1007/s11160-006-6394-x>
- [20] 肖乔芝, 陈利娟, 金锦锦, 仇玉萍, 陈国柱. 青鲮与食蚊鱼竞争排斥的生态形态学解释[J]. 应用生态学报, 2020, 31(6): 2087-2097.
- [21] Pan, J.H., Su, B.Z. and Zheng, W.B. (1980) Biological Characteristics of *Gambusia affinis* and the Prospects for Its Use for Mosquito Control. *Journal of South China Normal University*, **1**, 117-138.
- [22] Krumholz, L.A. (1948) Reproduction in the Western Mosquitofish, *Gambusia affinis affinis* (Baird & Girard), and Its Use in Mosquito Control. *Ecological Monographs*, **18**, 1-43. <https://doi.org/10.2307/1948627>
- [23] 严云志, 陈毅峰, 陶捐. 食蚊鱼生态入侵的研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 950-958.
- [24] Blackburn, T.M., Gaston, K.J. and Loder, N. (1999) Geographic Gradients in Body Size: A Clarification of Bergmann's Rule. *Diversity and Distributions*, **5**, 165-174. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.1999.00046.x>
- [25] Meiri, S. and Dayan, T. (2003) On the Validity of Bergmann's Rule. *Journal of Biogeography*, **30**, 331-351. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00837.x>
- [26] 汪国静. 不同增温情景下西部食蚊鱼的生长、繁殖与死亡特征研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南大学, 2022.
- [27] Atkinson, D. (1994) Temperature and Organism Size—A Biological Law for Ectotherms? *Advances in Ecological Research*, **25**, 1-58. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60212-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60212-3)
- [28] Botsford, L.W., Vondracek, B., Wainwright, T.C., Linden, A.L., Kope, R.G., Reed, D.E. and Cech, J.J. (1987) Population Development of the Mosquitofish, *Gambusia affinis*, in Rice Fields. *Environmental Biology of Fishes*, **20**, 143-154. <https://doi.org/10.1007/BF00005293>
- [29] Wootton, H.F., Morrongiello, J.R. and Audzijonyte, A. (2020) Estimating Maturity from Size-at-Age Data: Are Real-World Fisheries Datasets up to the Task? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **30**, 681-697. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09617-9>
- [30] Polidori, C., Gutiérrez Cánovas, C., Sánchez, E., Tormos, J., Castro, L. and Sánchez Fernández, D. (2020) Climate Change-Driven Body Size Shrinking in a Social Wasp. *Ecological Entomology*, **45**, 130-141. <https://doi.org/10.1111/een.12781>
- [31] 胡玲红, 王映, 王化敏, 陈良标. 不同温度胁迫对青鲮鳃凋亡的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(6): 929-936.
- [32] 王润萍, 戴铃灵, 陈雅飞, 徐永健. 短期温度、盐度胁迫对海洋青鲮鱼(*Oryzias melastigma*)摄食行为及抗氧化的影响[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(2): 378-387.
- [33] 周龙艳. 长江流域几种珍稀鱼类对环境因子胁迫的生理与行为响应研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆师范大学, 2021.