

运动锻炼对鲤鱼幼鱼形态参数的影响^{*}

闫冠杰, 曹振东, 彭姜岚, 付世建

(重庆师范大学 进化生理与行为学实验室 重庆市动物生物学重点实验室, 重庆 400047)

摘要 :为考查运动锻炼对鲤鱼(*Cyprinus carpio*)幼鱼形态特征的影响,在 25 ℃ 条件下将 60 尾体长为(7.1 ± 0.39) cm 的实验鱼,以 60% 临界游泳速度(U_{crit})持续运动锻炼 15 d,每天锻炼时间分别为 6 h 和 12 h,对照组锻炼时间为每天 0 h,随后分别进行有关形态特征图像及相关参数的测定。结果显示 6 h 和 12 h 实验组的叉长(FL)、尾柄侧面积(S')的值与对照组相比均显著增大($p < 0.05$),而头高(HD)、体高(BD)和体高比体长(H/L)的值都显著减小($p < 0.05$)。6 h 和 12 h 实验组之间比较,12 h 处理组的 BD 值和 H/L 值比 6 h 处理组的显著变小($p < 0.05$)。其中,与对照组相比 6 h 和 12 h 组 S' 值增加的比率为 5.8% 和 9.5%,而 H/L 值分别降低 3.4% 和 6.9%。研究认为,运动锻炼对实验鱼的形态特征及相关参数均产生影响,且这种影响随锻炼强度的提高而增大,运动锻炼对鲤鱼幼鱼产生的这种影响可能会使它们的游泳运动速度及能量效率得到显著提高。

关键词 运动锻炼;形态;鲤鱼;锻炼强度

中图分类号 Q591.4

文献标识码 A

文章编号 1672-6693(2011)03-0018-04

进化生物学的基本观点认为,不同的自然选择机制会产生并维持物种的表型多样性^[1-3],而表型多样性既可能是自然对基因型进行选择的结果,也可能是特定环境作用在可塑性范围内的形态修饰^[2,4]。通常运动锻炼被划分为有氧锻炼和无氧锻炼,可以诱导硬骨鱼产生一系列适应性的变化^[5],其中游泳能力的提高被广泛关注^[6-8]。有氧运动锻炼使游泳能力提高,可以分别通过生理和形态两个方面的改变得以实现。已有研究发现,有氧运动锻炼可以使鱼类红肌纤维的直径增大、酶活性增强,还能有效提高组织的氧供应能力和能量利用效率^[9-10]。还有研究表明,在不同水流速度河流中生存的大西洋鲑鱼(*Salmo salar*)的形态特征产生明显的变异^[11],河流建坝后的水流变缓也会造成鱼类某些形态特征的改变^[12]。目前,有氧运动锻炼对鱼类生理指标及游泳能力影响的研究报道较多,而在实验条件下的有氧运动锻炼对鱼类形态特征影响的资料尚十分缺乏。

自然界水体不同的水流速度往往与鱼类的能量的消耗、捕食和逃逸的成功率等因素紧密关联。本研究将鲤鱼(*Cyprinus carpio*)幼鱼在稳定流速中锻炼不同的时间,通过测量并分析鱼体形态参数考查

运动锻炼对形态特征的影响,旨在为鱼类生理生态学的相关研究提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 材料来源与驯化

将 2010 年 9 月在重庆市合川区水产学校购买的鲤鱼幼鱼放入本实验室规格为 1.2 m × 0.55 m × 0.55 m 的自净化循环控温水槽内驯养 15 d。然后将体重(8.2 ± 0.9) g、体长(7.1 ± 0.39) cm 的 60 尾身体健康且大小相近的实验鱼分别转入两个水槽(同驯养水槽)中的 6 个底部为多孔筛板与水槽水体相连的养殖单元内适应 3 d,每个单元内放置实验鱼 10 尾。上述驯养及适应期间,每天以商业颗粒饲料饱足投喂两次,实验的水温均为(25 ± 1) ℃,以充气泵不断向水体充入空气使其溶氧量接近饱和,日换水量约为水槽 250 L 总水体体积的 10%;光照周期为光照 12 h,黑暗 12 h。

1.2 实验方案与操作

将选出的 60 尾实验鱼随机均分为对照组、6 h 锻炼组和 12 h 锻炼组。对照组始终在养殖单元中喂养不进行锻炼,而另外两个锻炼组则每天在运动水道中分别锻炼 6 h 和 12 h,均持续锻炼 15 d。两

* 收稿日期 2011-03-04 网络出版时间 2011-05-16 10:13:00

资助项目 国家自然科学基金(No. 30700087)、重庆市自然科学基金(No. CSTC2010BB1089)、重庆市高校优秀人才支持计划(2009)

作者简介 闫冠杰,男,硕士研究生,研究方向为鱼类生理生态学,通讯作者:付世建, E-mail: shijianfu9@hotmail.com

个锻炼组锻炼开始时间均为上午 9:00。水流速度为 60% 临界游泳速度(U_{crit}),该速度为鱼类最大持续游泳速度,由预备实验测得。每天锻炼结束后将鱼转移到养殖单元中喂养。3 组实验鱼每天 8:00 和 24:00 定时饱食投喂,投喂前清除残饵和粪便。锻炼 15 d 后结束实验并禁食 1 d。随后由每组中随机选取 9 尾实验鱼,以过量的丁香酚麻醉致死作为形态参数测量样本。用大头针将麻醉致死的鱼固定在放有刻度尺的白色聚苯乙烯板上,采用 Canon IX-US105 数码相机拍取右侧照片^[11]。摄像完成后测量体宽、体重。

1.3 数据采集和处理

采用 TpsDig^[13] 软件对每张照片 16 个特征点进行标记^[11](图 1),随后用 TpsRegr 软件对标记特征点进行分析^[14],展现并比较各实验组间的形态变化。测定与变化明显的特征点相关参数,主要有叉长(FL)、腹鳍前长(PP_L)、头长(HL)、头高(HD)、体高(BD)、尾柄高₁(CD_1)、尾柄高₂(CD_2)、尾柄侧面积(S^*)等,为了消除因个体差异造成的影响,本研究采用以下公式分别对各距离参数和尾柄侧面积进行校正。

$$y = x \times \sqrt{\frac{S_i}{S}} \quad S^* = S^*_i \times \frac{S_i}{S}$$

式中 S_i 为第 i 条实验鱼的尾柄侧面积值, S 为每组鱼尾柄侧面积的平均值, x 、 S^*_i 分别为距离、面积参数的实测值,而 y 、 S^* 则为校正后的距离、面积参数数值。

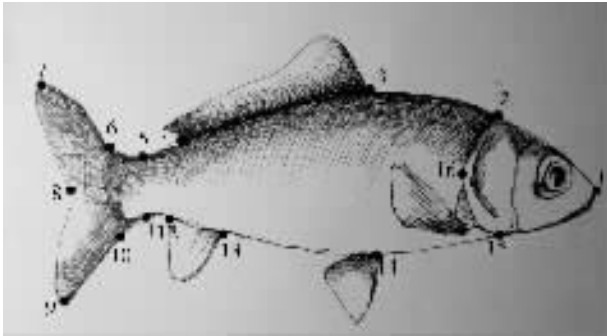


图 1 有关形态学测量的特征点

Fig. 1 The characteristic point of the morphological measurement

对不同实验组的数据采用单因素方差分析,差异显著性水平为 $p < 0.05$,统计数值均以平均值 \pm 标准误($Mean \pm SE$)表示。

2 结果

2.1 运动锻炼后形态特征图像变化的分析

通过采用 TpsRegr 软件对 3 组实验鱼的标记特征点进行分析,分别得到各自的图像(图 2)。该软件根据每尾实验鱼的全部特征点坐标得出各自的质点,以 3 组实验鱼中最大和最小质点的平均值为基准点,该点对应的形态特征图像以正方形网格为背景,根据每组实验鱼质点平均值得到所对应的图像;由于每组鱼的平均质点与基准点不相等,故 3 组图像的背景网格均有所弯曲。根据背景网格弯曲的方向及程度可以分辨出 3 组鱼形态变化特征。

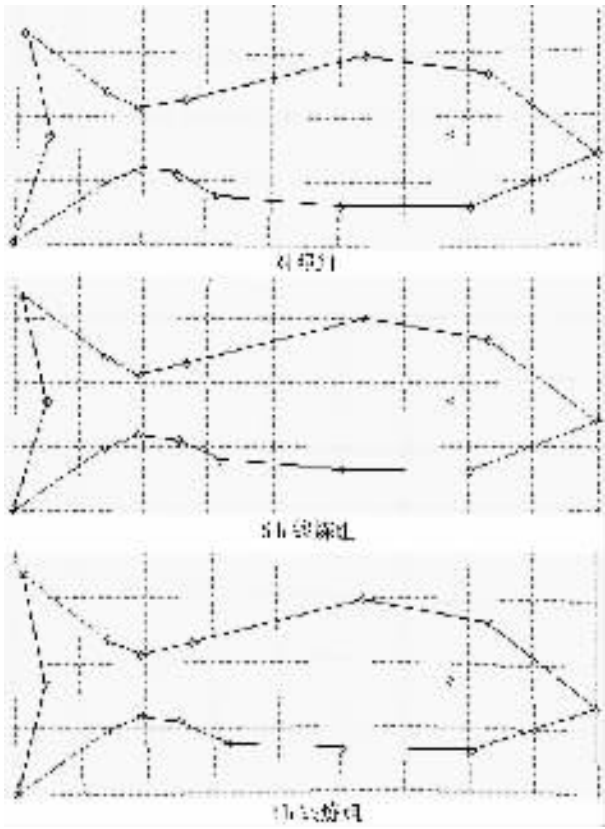


图 2 运动锻炼 15 d 后鲤鱼幼鱼的形态变化

Fig. 2 The morphological change of the juvenile common carp after 15 d exercise training

实验鱼在经过 15 d 的运动锻炼后,根据背景网格的弯曲不难发现,尾柄、尾鳍、体高和头高均呈现不同程度的变化。其中尾柄、体高和头高的背景网格弯曲明显,而其他部分也有轻微的变化。

实验数据用 EXCEL 2007 进行常规计算,然后

2.2 运动锻炼对鱼体形态参数的影响

基于形态特征点图像的分析,重点度量变化较大的部位的相关距离和面积参数,其结果见表 1。6 h 和 12 h 锻炼组的 FL 、 S' 值与对照组相比均显著增大($p < 0.05$)而 HD 、 BD 和 H/L 的值都显著减小($p < 0.05$)两个实验组之间比较,12 h 锻炼组的 BD 、 H/L 值比 6 h 锻炼组显著减小($p < 0.05$)。与对照组相比经过 6 h、12 h 运动锻炼的两组 S' 值分别显著增加 5.8% 和 9.5% ($p < 0.05$)而 H/L 值分别显著降低 3.4% 和 6.9% ($p < 0.05$)。

表 1 鲤鱼幼鱼运动锻炼前后形态度量的相关参数
Tab.1 The effect of exercise on the morphological parameters of juvenile common carp

	锻炼时间/(h · d ⁻¹)		
	0	6	12
PP_L /mm	39.28 ± 0.34 ^a	39.72 ± 0.15 ^a	39.44 ± 0.29 ^a
HL /mm	22.34 ± 0.21 ^a	22.91 ± 0.25 ^a	22.23 ± 0.34 ^a
HD /mm	20.77 ± 0.12 ^a	19.89 ± 0.21 ^b	19.75 ± 0.28 ^b
BD /mm	23.88 ± 0.33 ^a	23.06 ± 0.22 ^b	22.49 ± 0.13 ^c
CD_1 (mm)	11.71 ± 0.23 ^a	11.56 ± 0.15 ^a	11.94 ± 0.18 ^a
FL /mm	82.92 ± 0.24 ^a	84.07 ± 0.36 ^b	83.65 ± 0.33 ^b
CD_2 /mm	13.79 ± 0.15 ^a	13.74 ± 0.18 ^a	13.90 ± 0.26 ^a
S /mm ²	1 608 ± 56 ^a	1 523 ± 54 ^a	1 550 ± 34 ^a
S' /mm ²	121.7 ± 2.3 ^a	128.6 ± 2.0 ^b	133.3 ± 3.5 ^b
H/L	0.288 ± 0.005 ^a	0.276 ± 0.002 ^b	0.267 ± 0.003 ^c

注:表中同一行不同的字母表示差异显著($p < 0.05$)

3 讨论

在鱼类运动过程中,尾鳍、尾柄、背鳍和臀鳍提供了较多的动力^[15-16],它们的侧面积越大运动能力就越强。而这部分面积的增加通常表现为两个方面:一方面通过尾鳍和尾柄侧面积的增加;另一方面也可能通过奇鳍如背鳍、臀鳍等面积的增加^[17]。鳍面积的增加不仅能有效提高运动能力,而且能量效率也会更高^[18]。本实验的结果显示,经过 15 d 运动锻炼的鲤鱼幼鱼 6 h 和 12 h 锻炼组尾柄侧面积分别显著增加 5.8% 和 9.5% ($p < 0.05$)而尾鳍面积变化不明显。这可能与运动锻炼导致尾柄肌肉纤维增粗,进而表现为尾柄侧面积的增加有关。对于一定长度和质量的鱼来说,鱼体受到的阻力与体高成正比^[19]。本实验的结果表明,经过 60% U_{crit} 运动锻炼的鲤鱼幼鱼的头高、体高与体长的比率均显著变小($p < 0.05$)。头高、体高与体长比率的降低以及尾柄侧面积的显著增加,可能会使鲤鱼幼鱼的游

泳运动能力及能量效率显著提高。

形态参数不仅会改变鱼类的游泳运动能力,而且受不同类型水环境的影响。有关在不同水环境分布(海峡和湖泊)的两种鱼的研究表明,海峡中鱼的最大体高前移,嘴的位置也向上翘^[20]。相关研究还表明,水库等静止水体与河流等流动水体中的同种鱼相比,前者的体高较大,头部较小,眼睛更靠近腹部^[12]。本实验结果显示,每天锻炼时间由 6 h 提高到 12 h,不仅与对照组相比体高以及体高与体长比率均显著降低($p < 0.05$),而且两个处理组之间也存在显著差异($p < 0.05$),表明随着运动锻炼强度的增加该参数进一步下降。

在有关研究中,运动锻炼的强度主要受游泳速度和持续锻炼时间的影响^[9]。本研究结果也表明,在相同的游泳速度下,不同的持续时间会对鲤鱼幼鱼形态参数产生影响。由此可以进一步设想,如每天持续锻炼时间相同而游泳速度不同,这些参数是否也会发生一定变化?若产生变化,那么游泳速度和持续锻炼时间是否存在关联或者说存在何种关联?这些问题将成为笔者下一步研究的方向。

参考文献:

[1] Robinson B W, Wilson D S. Genetic variation and phenotypic plasticity in a trophically polymorphic population of pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*) [J]. Evolutionary Ecology, 1996, 10: 631-652.

[2] Schluter D. The ecology of adaptive radiation [M]. Oxford: Oxford University Press, 2000.

[3] Smith T B, Skúlason S. Evolutionary significance of resource polymorphisms in fishes, amphibians, and birds [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1996, 27: 111-133.

[4] Orr M R, Smith T B. Ecology and speciation [J]. Trends in Ecology and Evolution, 1998, 13: 502-506.

[5] Davison W. The effects of exercise training on teleost fish, a review of recent literature [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1997, 117A: 67-75.

[6] Winberg S, Nilsson G E, Olsen K H. Social rank and brain levels on monoamines and monoamine metabolites in arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.) [J]. Journal of Comparative Physiology, 1991, 168A: 241-246.

[7] Li X M. The effect of exercise training on the metabolic interaction between digestion and locomotion in juvenile dark-barbel catfish (*Pelteobagrus vachelli*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2010, 156A: 67-73.

[8] Young P S, Cech J J. Improved growth, swimming performance in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson [J]. Journal of Fish and Aquatic Sciences, 1993, 50: 703-707.

- [9] Davison W. The effects of exercise training on teleost fish : a review of recent literature[J]. Comparative Biochemistry and Physiology ,1997 ,117 :67-75.
- [10] Martin C I ,Johnston I A. Endurance exercise training in common carp *Cyprinus Carpio* L. induces proliferation of myonuclei in fast muscle fibres and slow muscle fibre hypertrophy[J]. Journal of Fish Biology ,2006 ,69 :1221-1227.
- [11] Páez D J ,Hedger R ,Bernatchez L ,et al. The morphological plastic response to water current velocity varies with age and sexual state in juvenile atlantic salmon *Salmo salar*[J]. Freshwater Biology ,2008 ,53 :1544-1554.
- [12] Haas T C ,Blum M J ,Heins D C. Morphological responses of a stream fish to water impoundment[J]. Evolutionary Biology ,2010 ,6 :803-806 .
- [13] Rohlf F J. TpsDig ,Version 2. 05[CP]. Stony Brook ,New York :Department of Ecology and Evolution ,State University of New York at Stony Brook ,2005.
- [14] Rohlf F J. TpsRegr ,Version 1. 28[CP]. Stony Brook ,New York :Department of Ecology and Evolution ,State University of New York at Stony Brook ,2003.
- [15] Frith H R ,Blake R W. Mechanics of the startle response in the northern pike *Esox lucius*[J]. Canadian Journal of Zoology ,1991 ,69 :2831-2839.
- [16] Webb P W. Effects of median-fin amputation on fast-start performance of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. Journal of Experimental Biology ,1977 ,68 :123-135.
- [17] Walker J A. Ecological morphology of lacustrine threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* L. (Gasterosteidae) body shape[J]. Biological Journal of the Linnean Society ,1997 ,61 :3-50.
- [18] Weihs D. Design features and mechanics of axial locomotion in fish[J]. American Zoologist ,1989 ,29 :151-160.
- [19] Vogel S. Life in moving fluids[M]. 2nd Ed. Princeton : Princeton University Press ,1994.
- [20] Langerhans R B. Habitat-associated morphological divergence in two neotropical fish species[J]. Biological Journal of the Linnean Society ,2003 ,80 :689-698.

Animal Sciences

The Effects of Exercise Training on the Morphological Parameter of Juvenile Common Carp

YAN Guan-jie , CAO Zhen-dong , PENG Jiang-lan , FU Shi-jian

(Chongqing Key Laboratory of Animal Biology , Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior ,
Chongqing Normal University , Chongqing 400047 , China)

Abstract : To investigate the effects of exercise training on the morphological parameter of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*), the morphological images and related parameters were measured in juvenile common carp (body length , (7.1 ± 0.39) cm , $n = 60$) after exercise training for 15 days. The exercise training water flow rate was 60% critical swimming speed (U_{crit}) and the exercise training duration was 0 h (control) , 6 h and 12 h daily and the water temperature was maintained at 25 °C conditions. The results revealed that the fork length (*FL*) and the caudal area (*S'*) of 6h and 12 h exercise trained groups increased significantly ($p < 0.05$) , while head depth (*HD*) , body depth (*BD*) and the body depth : body length ratio (*H/L*) reduced significantly ($p < 0.05$) , respectively , compared with those of the control group. Between the two experimental treatment groups , the values of *BD* and *H/L* of 12 h exercise trained group were significantly smaller than those of 6 h exercise trained group ($p < 0.05$). Compared with the control group , the caudal area of 6 h and 12 h exercise trained groups increased 5.8% and 9.5% ($p < 0.05$) , and that the *H/L* decreased 3.4% and 6.9% ($p < 0.05$). The results suggested that the morphological characteristics and related parameters were impacted by the exercise training and training effects was strengthened with the intensity of exercise. The juvenile common carp may increase the swimming speed and the energy efficiency during swimming after exercise training.

Key words : exercise training ; morphology ; *Cyprinus carpio* ; training intensity