

垂钓强度对鲫幼鱼易钓性和生长的影响

陈欢 何衍 刘小玲 曾令清

EFFECT OF ANGLING INTENSITY ON THE VULNERABILITY TO ANGLING AND GROWTH OF JUVENILE CRUCIAN CARP

CHEN Huan, HE Yan, LIU Xiao-Ling, ZENG Ling-Qing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2021.2020.276>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

异育银鲫易钓性的表型基础和生态结果及饥饿响应

THE PHENOTYPIC BASIS, ECOLOGICAL CONSEQUENCES AND FASTING RESPONSES TO ANGLING OF JUVENILE GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*)

水生生物学报. 2018, 42(4): 751–761 <https://doi.org/10.7541/2018.092>

不同运动强度对黑鲮生长、血清和肝脏抗氧化指标的影响

EFFECTS OF DIFFERENT EXERCISE INTENSITY ON GROWTH AND SERUM AND LIVER ANTIOXIDANT INDICES OF *SPARUS MACROCEPHALUS*

水生生物学报. 2018, 42(2): 255–263 <https://doi.org/10.7541/2018.032>

饲料中猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤生长性能、血液生理生化、肌肉组成及质构特性的影响

EFFECTS OF DIETARY FISHMEAL REPLACEMENT WITH MEAT AND BONE MEAL ON THE GROWTH PERFORMANCE, BLOOD PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICES, MUSCLE CHEMICAL COMPOSITION AND TEXTURE CHARACTERISTICS IN JUVENILE FURONG CRUCIAN CARP (FURONG CARP ♀ × RED CRUCIAN CARP ♂)

水生生物学报. 2020, 44(1): 85–94 <https://doi.org/10.7541/2020.011>

带形蜈蚣藻盘丝体孢子的形成及温度和光照强度对其放散的影响

EFFECTS OF TEMPERATURE AND LIGHT INTENSITY ON THE FORMATION AND RELEASE OF SPORES OF *GRATELOUPIA TURUTURU*

水生生物学报. 2019, 43(1): 219–225 <https://doi.org/10.7541/2019.027>

饲料蛋白水平对方正银鲫幼鱼生长、体成分、肝脏生化指标和肠道消化酶活性的影响

EFFECTS OF DIETARY PROTEIN LEVELS ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION, LIVER BIOCHEMICAL INDICES, AND DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES OF JUVENILE CHINESE CRUCIAN CARP

水生生物学报. 2018, 42(4): 736–743 <https://doi.org/10.7541/2018.090>

光强对菹草生长及抗氧化酶活性的影响

EFFECTS OF LIGHT INTENSITY ON GROWTH AND ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITY OF *POTAMOGETON CRISPUS*

水生生物学报. 2018, 42(4): 846–853 <https://doi.org/10.7541/2018.104>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2021.2020.276

垂钓强度对鲫鱼幼鱼易钓性和生长的影响

陈欢 何衍 刘小玲 曾令清

(重庆师范大学生命科学学院, 进化生理与行为学实验室, 动物生物学重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘要: 为考察不同垂钓强度对鲤科鱼类易钓性和生长的影响, 研究以鲫(*Carassius auratus*)幼鱼为实验对象, 在实验(26.9±0.1)℃条件下对大小相近和机体健康的3个处理组[高强度组(1d垂钓1次)、中强度组(2d垂钓1次)和低强度组(4d垂钓1次)]进行垂钓实验; 每个垂钓处理组均设3个平行组, 每个平行组包括40尾鱼, 每个组在垂钓10h后则停止该组的垂钓活动, 记录成功垂钓每尾鱼的时间、序号和电子标签信息, 计算垂钓比例、单尾被钓时间、平均垂钓序号、变异系数和实验期间(9d)的生长率。研究发现: 3个垂钓强度组的垂钓比例均随着垂钓次数的增加而呈现下降的变化趋势, 单尾被钓时间呈现增加的变化趋势, 导致垂钓比例与单尾被钓时间呈负相关。除低强度组外, 高、中垂钓强度组的平均垂钓序号随着被钓次数的增加均呈现减小的变化趋势, 并且该2个强度组平均垂钓序号的变异系数随着被钓次数的增多均呈增大的变化趋势; 3个垂钓强度组的平均垂钓序号与其变异系数呈负相关。3个垂钓强度组在实验期间的特定生长率均出现负值情况, 但3个组之间无差异。研究表明: 高强度的垂钓活动会降低鲫鱼幼鱼的易钓性, 并且导致个体生长表现出一定的负面效应, 表明高强度垂钓活动可能影响鱼类野外种群易钓性及其相关的其他表型的进化轨迹。

关键词: 易钓性; 垂钓强度; 垂钓比例; 垂钓时间; 生态结果

中图分类号: S931.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2021)05-1145-09



全世界淡水、海洋和陆地生态系统中都有人类活动引起的动物表型反应^[1]。动物种群内个体之间行为和生理上的差异影响个体的生理状态和生态表现^[2]。然而, 在特定环境中行为或生理的最适表型可能会因人类活动而发生改变, 从而导致受影响动物表型的进化反应。例如, 在渔业(包括休闲渔业)生产中, 对具有特定表型个体的选择性捕获可以驱动鱼类表型的进化方向, 即渔业导致进化(Fisheries induced evolution)^[3-5]。这些研究大多集中于生活史特征的改变^[6], 如在商业捕捞下海洋鱼类种群的生长速度下降、总生殖产量降低和性成熟年龄降低^[4, 7]。类似的过程也可能发生在以休闲垂钓为目标的淡水渔业中^[8, 9]。易钓性(Vulnerability to angling)是指鱼类种内个体间被钓概率在不同时空条件下的稳定差异, 即某些个体一直容易被钓, 而某些个体一直难于被钓, 是一个复杂的遗传

性状^[10]。垂钓(如竞技垂钓和休闲垂钓)可能改变野生鱼类种群的基因库, 间接影响种群的生存、生长、繁殖等生活史特征, 并影响垂钓成功率^[10]。

当今休闲渔业在世界范围内非常流行^[11, 12], 还是鱼类资源调查的重要手段^[13-15]。全球范围的休闲渔民数量相当可观, 而且还在不断增加^[16]。垂钓已成为重要的休闲渔业活动, 据统计, 具有被钓经历的鱼类数量约占全球每年总渔获量的12%^[17]。多数垂钓爱好者每年垂钓次数超过10次, 多者达到30次以上, 在春季垂钓的人数较多^[18], 这一现状可能对繁殖季节鱼类的繁殖活动造成负面影响。社会学习发生在包括鱼类在内的许多动物类群中^[19], 鱼类可能对垂钓过程中人工诱饵及其引发的胁迫进行社会学习。例如, 日本比目鱼(*Paralichthys olivaceus*)通过观察其他同类个体被捕食经历而成功有效避开捕食者^[20]; 先捕后放的社会经历诱导鲤

收稿日期: 2020-12-18; **修订日期:** 2021-04-16

基金项目: 国家自然科学基金(31300341); 重庆市教委科学技术研究项目(KJQN201900540和KJQN202000539); 重庆市留学人员回国创业创新支持计划项目(cx2019153)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31300341), the Science and Technology Research Program of Chongqing Municipal Education Commission (KJQN201900540 and KJQN202000539); the Venture and Innovation Support Program for Chongqing Overseas Returnees (cx2019153)]

作者简介: 陈欢(2001—), 女, 本科生; 研究方向为鱼类生态学。E-mail: 17815366440@163.com

通信作者: 曾令清, E-mail: lingqingzeng@cqu.edu.cn

(*Cyprinus carpio*)产生鱼钩回避行为以降低被捕风险,可能影响鱼类的易钓性^[21]。虽然鱼类易钓性与个体的勇敢性^[22, 23],营养状况和饥饿水平^[24],捕食风险^[25]和温度^[26]等因素相关,但在休闲垂钓活动中不同强度的垂钓活动对鱼类易钓性影响的相关研究仍显匮乏。

鲤科(Cyprinidae)是我国淡水鱼类中种数最多的一个科,在淡水养殖业和捕捞业及水产品动物蛋白供应中具有不可取代的作用与地位,也是内陆水域(如长江、黄河)或人工池塘的常见垂钓种类。鲫(*Carassius auratus*)是一种我国常见的鲤科鱼类和经济养殖鱼类,栖息在青藏高原地域以外的各大水系,具有食性广、适应性强、繁殖力强和抗病力强等特点。研究发现,鲫幼鱼的易钓性存在明显的个体稳定差异^[27];异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的易钓性明显强于鲤^[28];短期饥饿增强草鱼(*Ctenopharyodon idellus*)的易钓性^[29],但降低了异育银鲫的易钓性^[30]。为考察不同垂钓强度对鲤科鱼类易钓性和生长的影响,本研究以鲫幼鱼为实验对象,对3个不同垂钓强度组[高强度组(1d垂钓1次)、中强度组(2d垂钓1次)、低强度组(4d垂钓1次)]进行垂钓活动,每个垂钓处理组均设3个平行组,每个平行组包括40尾鲫幼鱼,每个重复在垂钓10h后则停止该组的垂钓活动,记录成功垂钓每尾鱼的时间、序号和电子信息,计算垂钓比例、单尾被钓时间、平均垂钓序号及其变异系数(Coefficient of variation, CV)和实验期间的生长率。本研究结果不仅可以为鱼类易钓性、增养殖和渔业管理等提供基础资料,还可以为政府渔业管理部门的垂钓指南制定提供重要参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源及驯化

本研究采用的鲫幼鱼来自重庆市北碚区当地的人工繁殖鱼场,购回后将鱼放入重庆师范大学进化生理与行为学实验室的3个室内循环控温水养殖水槽中进行为期4周的室内驯化。驯化期间,前期每日09:00用商业鲤科鱼类通用饲料(中国通威公司)饱足投喂,后期每日09:00用活体蚯蚓按1%鱼群总体重的量进行投喂,使鱼提前适应蚯蚓饵料。这种饵料的驯化原因是基于预备实验发现,即使在商业饲料中加入黏合剂重新制成人造颗粒诱饵,但在水中仍会出现一定程度的溶解,导致部分个体摄入溶解了的食物残渣,影响鱼类的食欲及易钓性,导致垂钓时间过长,使得鱼群中所有个体的营养状态无法达到较好的局部控制。每次投喂5min前,将养

殖水槽的充氧泵和循环系统关闭,以减少水体曝气和循环对鱼摄食的干扰;投喂30min后,用虹吸管将残饵、残渣及粪便全部清除,以维持养殖水体的质量,但每天的维护工作导致养殖水体的部分减少(约驯化水体的10%)。因此,每隔3天对养殖水槽补充曝气3d的水体至正常水量。循环水槽的水温控制在 $(26.9 \pm 0.1)^\circ\text{C}$,溶氧水平控制在7.0 mg/L以上,光周期设定为14 L:10D。为便于区分不同的鲫幼鱼个体,实验开始前2周,对经MS-222(80 mg/L)麻醉后的实验鱼进行PIT(Passive integrated transponder)数字标签(直径2 mm×长8 mm, 0.03 g/个)体内植入,个体的电子标签信息可通过扫描仪检测获得。在标签植入后的2周内,未发现鲫幼鱼个体死亡情况。

1.2 实验设计

本研究共设置3种不同的垂钓强度,即高垂钓强度组(1d垂钓1次)、中垂钓强度组(2d垂钓1次)、低垂钓强度组(4d垂钓1次)。基于预备实验,本研究共进行3个9d的实验周期。在每个实验周期,高强度组在1—9d中每天垂钓1次,中强度组在第1、第3、第5、第7、第9天中每天垂钓1次,低强度组在第1、第5和第9天中每天垂钓1次。每个处理组的垂钓活动时间为当天08:30—18:30(10h),在到达规定时间后,不管桶中的鱼是否全部被成功垂钓,立即停止该组的垂钓活动。这种方式的设定目的是通过垂钓在单位时间内对鱼群施加垂钓胁迫,并非获得百分之百的垂钓比例。在驯化结束后,筛选出大小相近、体格健康的鲫幼鱼360尾作为实验对象(表1)。在每次垂钓之前,将3个处理组的鱼群转移至相应的垂钓桶中适应并禁食48h,以排空消化道内容物并维持实验鱼的一定食欲。在实验期间,实验室维持安静状态以减少声音对鱼的影响,环境条件(如水温、溶氧水平和光周期等)与驯化期间保持一致。

1.3 实验装置及流程

实验装置 本研究采用3个完全相同的蓝色垂钓桶(高94 cm×直径68 cm,水深80 cm)进行实验,将3个垂钓桶放置在同一水平线上的位置,保持相

表1 鲫幼鱼的形态学参数

Tab. 1 The morphology of juvenile crucian carp

处理组 Treatment	样本量 Number	体重Body mass (g)	体长Body length (cm)	肥满度 Condition factor (g/cm ³)
高垂钓强度High intensity	n=120	6.57±0.17	6.43±0.05	2.41±0.02
中垂钓强度 Intermediate intensity	n=120	6.56±0.16	6.44±0.05	2.40±0.02
低垂钓强度Low intensity	n=120	6.57±0.16	6.43±0.05	2.43±0.02

等间距。在桶中加入充分曝气3d后的自来水, 在每个垂钓桶的底部均匀放置一定数量的绿色塑料水草及鹅卵石等, 以模拟鱼类野外栖息环境并提高垂钓环境的富集度(图 1)。每个垂钓桶均配置一个微循环系统和一个充氧砂头。在每个垂钓桶的顶部盖有不透光和颜色均匀的黄色硬纸板, 在中间具有一个25 cm×25 cm的正方形垂钓孔。垂钓人员与垂钓桶保持1.2 m的距离, 有助于减少垂钓过程中垂钓人员的操作对实验鱼的潜在影响; 在垂钓桶周围铺置一层橡胶发泡板, 以减小取鱼钩时被钓个体出现滑落而造成的损伤。

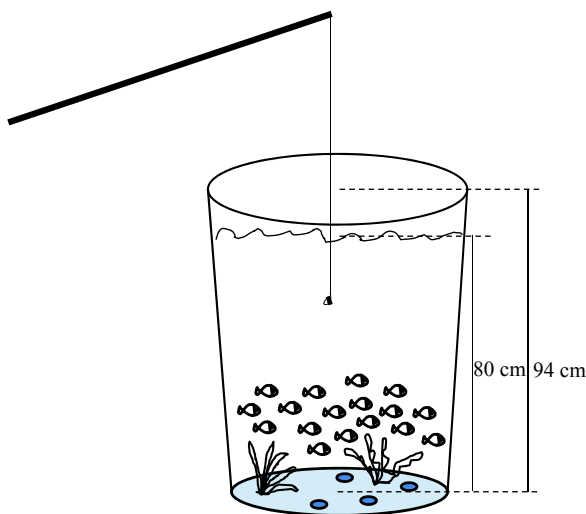


图 1 垂钓装置的示意图

Fig. 1 Schematic of the angling device

实验流程 在垂钓前, 检查每组鱼的活跃情况, 测定垂钓桶中水体的溶氧水平和水温并做好记录, 准备好完全一致的垂钓渔具和垂钓饵料(长度5 mm的新鲜蚯蚓段块)及用于暂养被钓个体的塑料水桶(30 L)。在垂钓期间, 关闭充气泵和微循环系统, 将装有鱼钩的诱饵轻轻沉入垂钓桶中部的空间位置(距离水面40 cm), 通过观察浮标来判断鱼的吃饵情况, 当鱼因被钓而剧烈逃逸拉动浮漂时, 则迅速将鱼钓出并快速小心取出鱼钩, 用扫描仪获取被钓个体的电子标签信息, 随后将鱼置于含有阿莫西林水体的暂养水桶中恢复2h, 以减少损伤部位的感染机率, 最后记录该尾鱼的被垂钓时间和被钓序号。在垂钓后, 将成功垂钓起来的所有个体全部放回垂钓桶, 每日18:40对每个强度组投喂0.5%鱼群总体重的新鲜蚯蚓, 随后用虹吸管清除残渣和粪便以维持垂钓桶的水质, 并补充适当曝气后的自来水以维持正常水位。

1.4 实验参数

易钓性 本研究采用垂钓比例、单尾被钓

时间、平均垂钓序号及其变异系数来评价鱼类易钓性^[27-30]。垂钓于当天8:30开始, 从鱼饵放入垂钓桶中开始至第1尾鱼钓出水面的时间为垂钓第1尾鱼的所需时间, 其余钓出的每尾鱼计时方法同上, 垂钓活动直至18:30。鱼类易钓性的实验参数如下所示:

(1)垂钓比例(%)是指在10h垂钓时间内成功垂钓起来的鲫幼鱼的个体数量占单个鱼群数量($n=40$)的比例。若该比例越大, 则这个鱼群的易钓性就越强。

(2)单尾被钓时间(min)是从指上一尾鱼的被钓时间到下一尾鱼被钓时间的时间间隔^[28-30]。若1个鱼群的单尾被钓时间的平均值越小, 则这个鱼群的易钓性就越强。

(3)平均垂钓序号是指单尾鱼在1个实验周期中所有被钓序号的平均值^[28-30]。每次垂钓活动中对被钓个体的先后顺序依次从1至最后一尾编号(如40), 因此在每次垂钓中钓出的每尾鱼具有唯一的序号。若单尾鱼的平均垂钓序号越小, 则该尾鱼的易钓性就越强。

(4)平均垂钓序号CV是指单尾鱼在1个实验周期中所有被钓序号的变异系数, 评价被钓个体的垂钓序号的变异程度^[28-30]。若单尾鱼的平均垂钓序号CV的数值越小, 则该尾鱼在此实验周期中的易钓性越稳定, 即具有较强的稳定性, 反之成立。

生长率 由于高强度垂钓实验可能对实验鱼产生更强的胁迫作用从而对其生长率产生更为显著的影响, 故本研究采用实验鱼体重的特定生长率(Specific growth rate, SGR)评价不同垂钓强度组在每个实验周期的体重变化情况, 即单位时间内鱼体重自然对数的增长值, 其计算公式如下所示:

$$SGR = 100 \times (\ln W_9 - \ln W_0) / 9$$

式中, SGR是实验鱼体重的特定增长率(%/d), W_0 为实验鱼在0时的初始体重(g), W_9 为实验鱼在第9天时的最终体重(g), 9为实验时间(d)。

1.5 数据分析

所有数据先用Excel2010进行初步整理, 然后再用软件SPSS 19.0进行统计分析。(1)用双因素方差分析(Two-way ANOVA)考察垂钓强度和时间对鲫幼鱼垂钓比例和单尾被钓时间的影响, 再用单因素方差分析进行多重比较。(2)用单因素方差分析考察垂钓强度对特定生长率、平均垂钓序号及其CV的影响, 若组间存在显著性影响, 再采用Duncan进行多重比较。(3)用Pearson相关性分析考察垂钓比例与单尾被钓时间、平均垂钓序号与其

CV之间的相关性。所有数据均以平均值 $\pm$ 标准误(Mean $\pm$ SE)表示,显著性水平定在 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 垂钓强度对垂钓比例和单尾被钓时间的影响

本研究发现,垂钓强度和垂钓时间对鲫幼鱼垂钓比例和单尾被钓时间均有影响,即3个垂钓强度组的垂钓比例均呈现下降的变化趋势,单尾被钓时间呈现增加的变化趋势(图2和图3)。第1天,高强度组、中强度组和低强度组之间的垂钓比例均超过了95%,并且无显著性差异(图2; $P=0.667$),说明实验开始时3个垂钓强度组的易钓性维持相当。第5天,中强度组与低强度组间的垂钓比例无显著性差异,但均明显大于高强度组的垂钓比例(图2; $P<0.05$)。第9天,中强度组和低强度组间的垂钓比例仍无差异,但明显高于高强度组;相比较于第5天,中强度组和低强度组的垂钓比例与高强度组之间的差异存在明显扩大的变化趋势(图2; $P<0.05$),表明在第9天中,中强度组和低强度组的易钓性比高强度组更强。

本研究发现,高强度组和中强度组的单尾被钓时间随着垂钓时间的延长而明显增加,但低强度的单尾被钓时间无显著变化(图3)。第1天,高强度组、中强度组和低强度组的单尾被钓时间均为5min左右,并且无显著性差异(图3; $P=0.590$),说明实验开始时3个垂钓强度组的易钓性无差异。第5天,3个强度组的单尾被钓时间仍无显著性差异,

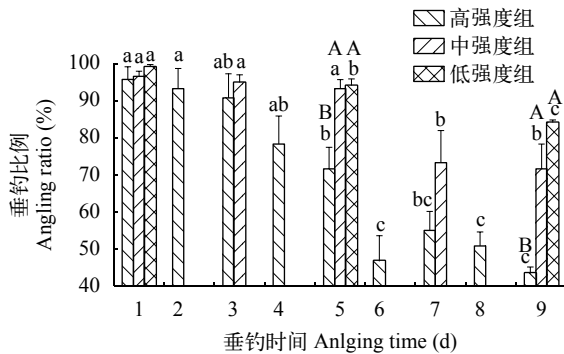


图2 不同垂钓强度和不同垂钓时间下鲫幼鱼的垂钓比例

Fig. 2 Angling ratio of the juvenile crucian carp under the conditions of different angling intensities and different angling times

不同小写字母表示同一垂钓强度组中的数据间存在显著差异($P<0.05$),不同大写字母表示同一垂钓时间中的数据间存在显著差异($P<0.05$);下同

Different lowercases indicate significant differences within the same angling intensity whereas different capital letters indicate significant differences within the same angling time ($P<0.05$). The same applies below

但相比较于第1天,仅高强度组的单尾被钓时间显著增加到3倍以上(图3; $P<0.05$)。第9天,3个强度组的单尾被钓时间之间均存在显著性差异,高强度组最大,中强度组次之,低强度组最小(图3; $P<0.05$)。

本研究发现,高强度组和中强度组的垂钓比例与单尾被钓时间存在负相关,即在中高垂钓强度条件下,实验鱼的易钓性不仅明显降低,而且其每尾鱼被钓的时间间隔也逐渐增加(图4; $P<0.05$)。然而,低强度组的垂钓比例与单尾被钓时间无显著相关性(图4; $P=0.402$)。

2.2 垂钓强度对平均垂钓序号及其CV的影响

本研究发现,除低强度组外,垂钓强度对高、中强度组的平均垂钓序号及其CV均有影响(图5),即2个垂钓强度组的平均垂钓序号随着被钓次数的增加均呈现减小的变化趋势,暗示在连续垂钓过程中经常被钓个体的易钓性较强并且维持较为稳定。高强度组和中强度组平均垂钓序号的CV随着被钓次数的增多均呈增大的变化趋势(图6),说明个体的被钓次数越多,其平均垂钓序号越不稳定。

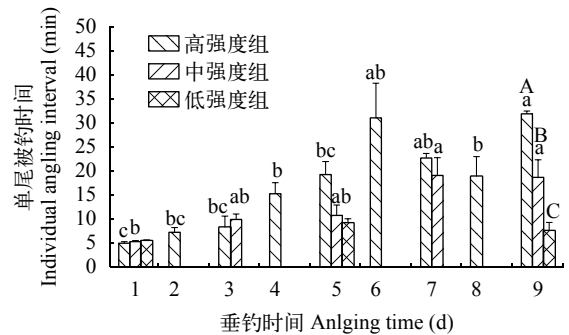


图3 不同垂钓强度和不同垂钓时间下鲫幼鱼单尾被钓时间
Fig. 3 Individual angling interval of the juvenile crucian carp under the conditions of different angling intensities and different angling times

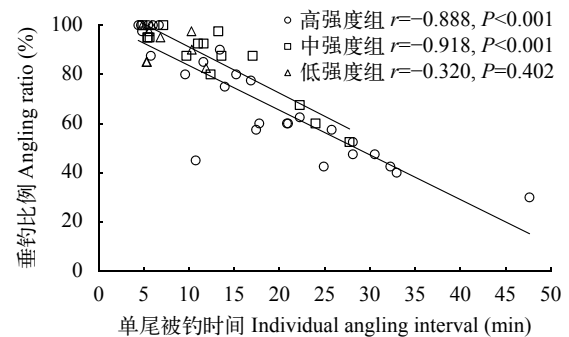


图4 不同垂钓强度组鲫幼鱼垂钓比例与单尾被钓时间的相关性
Fig. 4 Relationships between angling ratio and individual angling interval of the three angling intensity treatments in juvenile crucian carp

此外, 本研究还发现, 3个强度组的平均垂钓序号与其CV均呈负相关, 即平均垂钓序号越大, 其变异系数越小(图7; $P<0.05$)。

2.3 垂钓强度对特定生长率的影响

本研究发现, 3个垂钓强度的平均特定生长率均出现负值情况, 但3个组之间无显著差异(图8)。进一步分析, 中强度组和低强度组在不同被钓次数的特定生长率无显著差异, 但高强度组在不同被钓次数的体重特定生长率具有差异, 即随着被钓次数的增多特定生长率呈先上升后下降的变化规律(图9)。

3 讨论

3.1 垂钓强度对鲫鱼幼鱼易钓性及其稳定性的影响

本研究发现, 随着垂钓次数的增加, 3个垂钓强度组鲫鱼的易钓性均出现降低的现象, 即垂钓比

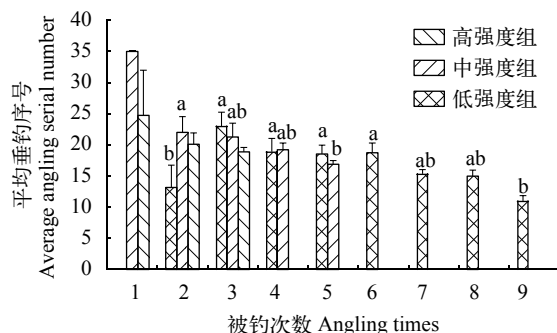


图5 不同垂钓强度和不同垂钓时间下鲫鱼的平均垂钓序号
Fig. 5 Average angling serial number of the juvenile crucian carp under the conditions of different angling intensities and different angling times

在中强度组中被钓1次鱼的数量仅为1尾, 无法参与组间显著性差异的比较, 故其上方无小写字母

Only one individual was successfully angled at one time in intermediate angling intensity treatment, so this fish was excluded from the comparison among different angling times

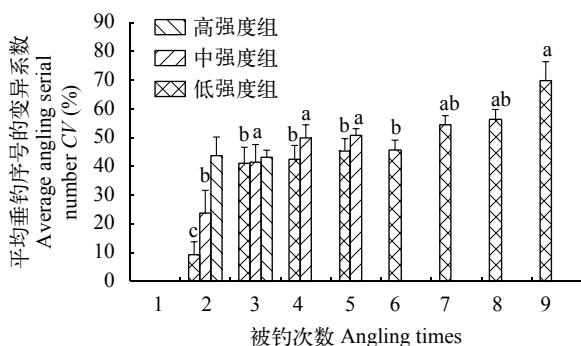


图6 不同垂钓强度和不同垂钓时间下鲫鱼平均垂钓序号的变异系数

Fig. 6 Coefficient variation of average angling serial number of the juvenile crucian carp under the conditions of different angling intensities and different angling times

例下降、单尾被钓时间增加, 导致垂钓比例与单尾被钓时间呈负相关, 表明无论何种垂钓强度, 重复性的垂钓均会降低鲫鱼的易钓性。出现该现象

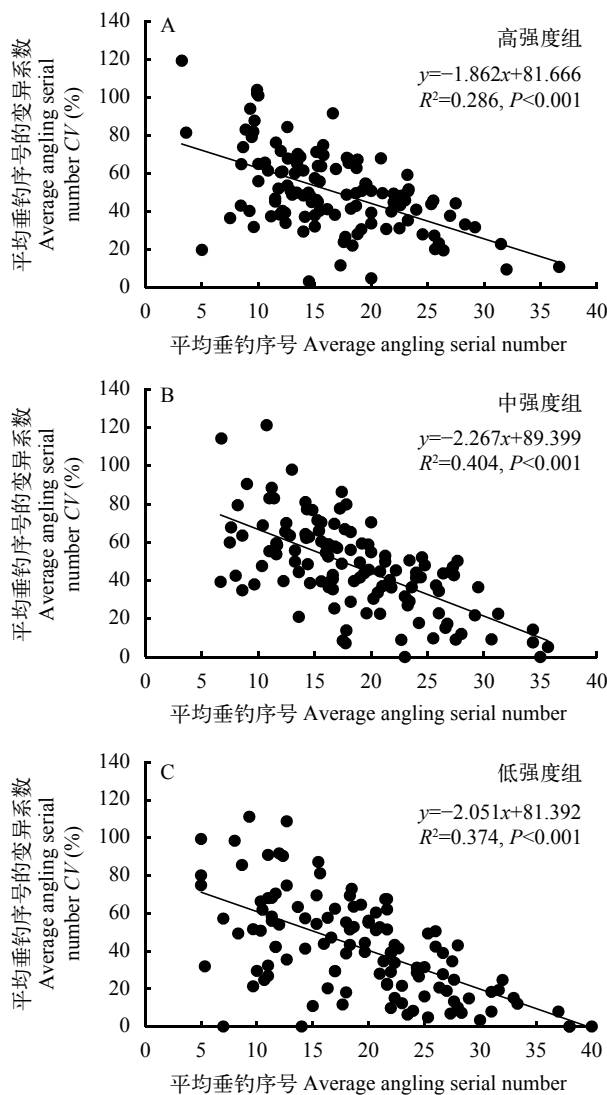


图7 鲫鱼平均垂钓序号与其变异系数的相关性

Fig. 7 Correlations between average angling serial number and its coefficient variation in juvenile crucian carp

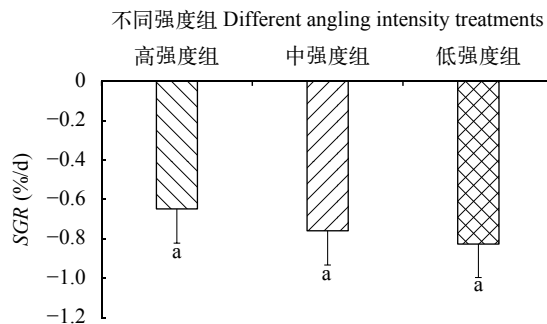


图8 不同垂钓强度下鲫鱼的特定体重生长率

Fig. 8 Specific growth rate of the juvenile crucian carp under different angling intensities

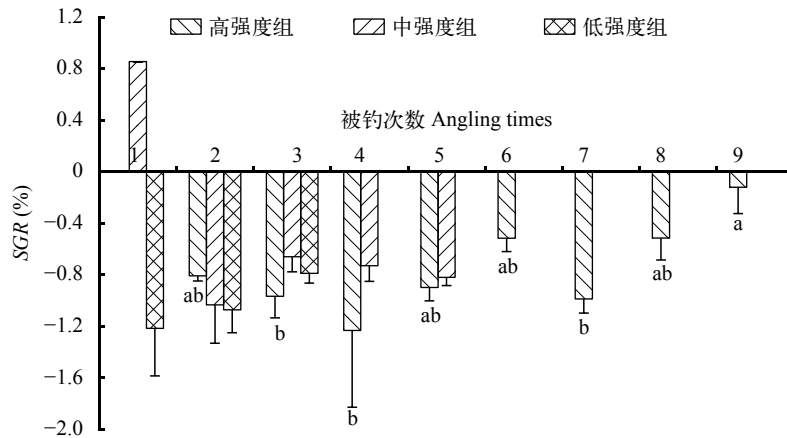


图9 不同垂钓频次下鲫幼鱼的特定体重增长率

Fig. 9 Specific growth rate of the juvenile crucian carp under different angling frequencies

的可能原因是在反复的垂钓活动中鲫对人工诱饵的学习能力使其产生了垂钓记忆,个体再次面对暗藏鱼钩的人工诱饵时可能表现更加谨慎的钩回避行为。在垂钓过程中,被成功垂钓的鲫个体遭受被鱼钩扎住及离开水体暴露于空气等严重环境胁迫,而未被成功垂钓的鲫个体也获取有关垂钓胁迫中的社会信息(如同类个体被钓和人工诱料的突然移动造成的水体动荡等),当这些鱼类再次面临相似的垂钓情境时可能会表现得较为谨慎而降低易钓性。研究发现,鱼类个体在其经历被捕获和释放的胁迫经历中获得有效的经历学习^[31-35],如鲤能够通过该经历学习能力而产生明显的钩回避行为,降低鱼类的易钓性^[21, 36-38]。此外,鱼类还会观察其他同种个体的被捕获过程而进行社会学习^[19],如日本比目鱼(*Paralichthys olivaceus*)成功地学会了通过观察其他同种个体被捕获过程而有效地回避捕食者,有助于提高学习者的生存适合度^[20]。因此,在垂钓过程中那些未被钓个体也可能通过社会学习而产生钩回避行为,进而降低了这些未被钓个体的易钓性。

本研究发现,相比较于中强度组和低强度组,高垂钓强度导致鲫幼鱼易钓性的下降程度更大。出现这种现象的可能原因是当对鲫进行高强度垂钓时,鲫幼鱼经历了更多次的先被钓后释放过程,这种更为丰富的个体胁迫经验明显增强了高强度组个体的经验学习效果。此外,在高强度垂钓过程中鲫幼鱼观察同种其他个体的被垂钓整个过程,使观察个体产生了更有成效的钩回避行为。相比较于高强度组,虽然中低垂钓强度也导致鲫产生一定的对垂钓活动的社会学习和经验学习,但由此产生的钩回避行为次数可能相对较少。因此,中低垂钓强度组可能仍然表现相对积极的摄食行为,导致中

低强度组鲫个体仍维持较高的易钓性,而高强度组鲫幼鱼的易钓性明显下降。

鱼类的易钓性作为一种复杂的遗传性状,在种间和种内都存在个体差异^[10],如在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)中的这种差异表现为有些个体可以多次被捕获,呈现出较高的易钓性,而有些个体尽管经过反复的垂钓努力,仍然未能被捕获,表现为较低的易钓性^[39]。有关鲫幼鱼重复垂钓的研究发现,每天都被钓的鲫幼鱼个体的比例占7.5%,表明该种鱼的前期被钓经历并不影响这些个体后期再次被钓,而17.5%鲫幼鱼个体在实验过程中从未被钓^[27],上述结果说明不同易钓性的鲫幼鱼个体在整体实验过程中保持较高的不易钓性。本研究也发现,在高中低垂钓强度组中每天都被钓的鲫幼鱼个体的比例分别为13.3%、51.6%和79.2%,表明在垂钓强度越低的环境条件下实验鱼全部被钓的比例反而越高。另外,本研究还发现,在所有垂钓强度条件下,被钓次数越多的个体的平均垂钓序号越小,但其CV却越大,表明易钓性越高的个体,其稳定性相对较差。出现这种现象的原因可能是相较于中低易钓性个体,高易钓性的鲫幼鱼个体更为活跃和勇敢,可能增加鱼类个体与渔具的接触概率^[40],从而使其在垂钓实验前期表现为更加积极频繁地摄取人工诱饵,同时提高了其被捕获的概率,导致在垂钓过程中高易钓性的鲫个体经历了更多次被捕获和释放的过程,并由此累积了更丰富的人工诱饵的识别经验而表现出更为谨慎的摄饵行为,在垂钓实验后期这些表型个体易钓性发生波动的可能性更高,而发生易钓性更不稳定的现象。

3.2 垂钓强度对鲫幼鱼生长率的影响

研究发现,具有较高能量代谢率和体型较大(如体重和体长)的鱼类个体更易被钓^[27, 28, 41, 42],并

且这些高易钓性的鱼类个体却具有较低的生长率^[43], 这种现象可能是因为易钓性高的个体具有较高的能量代谢强度, 在行为上表现为更为勇敢、敢于探索等, 在垂钓过程中频繁靠近饵料而消耗的能量也相对较多, 降低了生长率。然而, 本研究发现3个垂钓强度组中不同易钓性个体的平均生长率均出现负生长, 表明原先设定的每天饵料投放比例低于理论估计值。此外, 3个垂钓强度组之间的生长率无明显差异, 说明不同垂钓强度对鲫鱼生长造成的负面影响并无差异; 相比较于中低强度组, 只有高强度组个体的生长率随着被钓次数的增加呈现下降的变化趋势, 表明易钓性越高的鱼类个体, 其负生长率反而较低。出现这种现象的原因可能是在该组的垂钓过程中, 高易钓性个体积极觅食, 虽然会消耗更多能量但是也可在此过程中有更多的机会成功获取饵料, 或在每天晚上饵料投喂过程中因竞争能力强而获取更多食物, 使得其体重损失减少, 导致其生长率的绝对值小于中低易钓性个体。

综上所述, 随着垂钓强度的增加, 鲫幼鱼的易钓性将降低, 即高强度的垂钓会降低鲫幼鱼的易钓性。然而, 易钓性越高的个体却具有较低的易钓稳定性, 说明高强度的垂钓还会导致鲫幼鱼的易钓性表现出较低的稳定性。因此, 对于不论休闲渔业(如野外或竞技垂钓)或经济渔业而言, 对目标鱼类的垂钓强度不宜设定过强, 否则会导致这些鱼类的易钓性出现较大程度下降, 不仅影响垂钓效率和垂钓者的满意度, 也可能影响种群表型的可塑性。此外, 虽然不同垂钓强度组之间鲫幼鱼的生长率并无差异, 但均呈现负生长现象, 表明被垂钓鱼塘中鱼类个体的日常能量消耗明显大于非垂钓鱼塘, 建议适当增加投饵量以保障被垂钓鱼塘中鱼类个体较高的营养需求。

参考文献:

- [1] Palkovacs E P, Kinnison M T, Correa C, *et al.* Fates beyond traits: ecological consequences of human-induced trait change [J]. *Evolutionary Applications*, 2012, **5**(2): 183-191.
- [2] Burton T, Killen S S, Armstrong J D, *et al.* What causes intraspecific variation in resting metabolic rate and what are its ecological consequences [J]? *Proceedings of the Royal Society B-Biological Science*, 2011, **278**(1724): 3465-3473.
- [3] Louison M J, Adhikari S, Stein J A, *et al.* Hormonal responsiveness to stress is negatively associated with vulnerability to angling capture in fish [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2017, **220**(14): 2529-2535.
- [4] Devine J A, Wright P J, Pardoe H E, *et al.* Comparing rates of contemporary evolution in life-history traits for exploited fish stocks [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2012, **69**(6): 1105-1120.
- [5] Jorgensen C, Enberg K, Dunlop E S, *et al.* Ecology: managing evolving fish stocks [J]. *Science*, 2007, **318**(5854): 1247-1248.
- [6] Kuparinen A, Hutchings J A. Consequences of fisheries-induced evolution for population productivity and recovery potential [J]. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Science*, 2012, **279**(1738): 2571-2579.
- [7] Kuparinen A, Merilä J. Detecting and managing fisheries-induced evolution [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2007, **22**(12): 652-659.
- [8] Nusslé S, Bornand C N, Wedekind C. Fishery-induced selection on an Alpine whitefish: quantifying genetic and environmental effects on individual growth rate [J]. *Evolutionary Applications*, 2009, **2**(2): 200-208.
- [9] Kendall N W, Quinn T P. Length and age trends of chinook salmon in the Nushagak river, Alaska, related to commercial and recreational fishery selection and exploitation [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2011, **140**(3): 611-622.
- [10] Philipp D P, Cooke S J, Claussen J E, *et al.* Selection for vulnerability to angling in largemouth bass [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2009, **138**(1): 189-199.
- [11] Cooke S J, Cowx I G. The role of recreational fishing in global fish crises [J]. *BioScience*, 2004, **54**(9): 857-859.
- [12] Arlinghaus R, Cooke S J. Recreational Fisheries: Socioeconomic Importance, Conservation Issues and Management Challenges [M]. Recreational Hunting, Conservation and Rural Livelihoods: Science and Practice. Oxford: Wiley-Blackwell Scientific Publications, 2009: 39-57.
- [13] Arlinghaus R, Mehner T, Cowx I G. Reconciling traditional inland fisheries management and sustainability in industrialized countries, with emphasis on Europe [J]. *Fish and Fisheries*, 2002, **3**(4): 261-316.
- [14] Coleman F C, Figueira W F, Ueland J S, *et al.* The impact of united states recreational fisheries on marine fish populations [J]. *Science*, 2004, **305**(5692): 1958-1960.
- [15] Technical guidelines for responsible recreational fisheries [EB]. Food and agriculture organization of the United Nations (FAO), 2012.
- [16] Granek E F, Madin E M P, Brown M A, *et al.* Engaging recreational fishers in management and conservation: global case studies [J]. *Conservation Biology*, 2008, **22**(5): 1125-1134.
- [17] Post J R, Sullivan M, Cox S, *et al.* Canada's recreational fisheries: the invisible collapse [J]? *Fisheries*, 2002, **27**(1): 6-17.

- [18] He C Y. Analysis on the behaviour features of recreational fishing-case study of fishing fans in Changsha and Zhuzhou, Huan Province [J]. *Journal of Shunde Polytechnic*, 2006, **4**(2): 64-68. [贺春艳. 休闲垂钓旅游行为分析——以湖南长沙、株洲两地休闲垂钓爱好者为例 [J]. 顺德职业技术学院学报, 2006, **4**(2): 64-68.]
- [19] Brown C, Laland K N. Social learning in fishes: a review [J]. *Fish and Fisheries*, 2003, **4**(3): 280-288.
- [20] Arai T, Tominaga O, Seikai T, *et al.* Observational learning improves predator avoidance in hatchery-reared Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* juveniles [J]. *Journal of Sea Research*, 2007, **58**(1): 59-64.
- [21] Wallerius M L, Johnsson J I, Cooke S J, *et al.* Hook avoidance induced by private and social learning in common carp [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2020, **149**(4): 498-511.
- [22] Mezzera M, Largiadèr C R. Evidence for selective angling of introduced trout and their hybrids in a stocked brown trout population [J]. *Journal of Fish Biology*, 2001, **59**(2): 287-301.
- [23] Uusi-Heikkilä S, Wolter C, Klefoth T, *et al.* A behavioral perspective on fishing-induced evolution [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2008, **23**(8): 419-421.
- [24] Borcharding J, Magnhagen C. Food abundance affects both morphology and behaviour of juvenile perch [J]. *Ecology of Freshwater Fish*, 2008, **17**(2): 207-218.
- [25] Bean C W, Winfield I J. Habitat use and activity patterns of roach (*Rutilus rutilus* (L.)), rudd (*Scardinius erythrophthalmus* (L.)), perch (*Perca fluviatilis* L.) and pike (*Esox lucius* L.) in the laboratory: the role of predation threat and structural complexity [J]. *Ecology of Freshwater Fish*, 1995, **4**(1): 37-46.
- [26] Jacobsen L, Berg S, Broberg M, *et al.* Activity and food choice of piscivorous perch (*Perca fluviatilis*) in a eutrophic shallow lake: a radio-telemetry study [J]. *Freshwater Biology*, 2002, **47**(12): 2370-2379.
- [27] Yang Y, Wu C W, Fu S J, *et al.* Correlation between angling vulnerability and standard metabolic rate, and morphology in juvenile crucian carp (*Carassius auratus*) [J]. *Journal of Chongqing Normal University* (Natural Science), 2017, **34**(2): 26-31. [杨亚, 吴朝伟, 付世建, 等. 鲫幼鱼易钓性与标准代谢及形态特征的关联 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2017, **34**(2): 26-31.]
- [28] Yang Y, Fu S J, Peng J L, *et al.* Vulnerability to angling of two cyprinidae species [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, **37**(5): 1432-1437. [杨亚, 付世建, 彭姜岚, 等. 两种鲤科鱼类的易钓性 [J]. 生态学杂志, 2018, **37**(5): 1432-1437.]
- [29] Yang Y, Peng J L, Fu S J, *et al.* Effect of starvation on the vulnerability to angling of juvenile grass garp (*Ctenopharyodon idellus*) and its ecological consequences [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, **38**(2): 492-499. [杨亚, 彭姜岚, 付世建, 等. 饥饿对草鱼易钓性及其生态结果的影响 [J]. 生态学杂志, 2019, **38**(2): 492-499.]
- [30] Zeng L Q, Li M L, Xia M Q, *et al.* The phenotypic basis, ecological consequences and fasting responses to angling of juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, **42**(4): 751-761. [曾令清, 李梦露, 夏茂芹, 等. 异育银鲫易钓性的表型基础和生态结果及饥饿响应 [J]. 水生生物学报, 2018, **42**(4): 751-761.]
- [31] Kieffer J D, Colgan P W. The role of learning in fish behavior [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1992, **2**(2): 125-143.
- [32] Heyes C M. Social learning in animals: categories and mechanisms [J]. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 1994, **69**(2): 207-231.
- [33] Raat A J P. Analysis of angling vulnerability of common carp, *Cyprinus carpio* L., in catch-and-release angling in ponds [J]. *Aquaculture Research*, 1985, **16**(2): 171-187.
- [34] Louison M J, Suski C D, Stein J A. Largemouth bass use prior experience, but not information from experienced conspecifics, to avoid capture by anglers [J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2019, **26**(6): 600-610.
- [35] Wallerius L M, Gräns A, Koeck B, *et al.* Socially induced stress and behavioural inhibition in response to angling exposure in rainbow trout [J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2019, **26**(6): 611-620.
- [36] Poorten B T V, Post J R. Seasonal fishery dynamics of a previously unexploited rainbow trout population with contrasts to established fisheries [J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2005, **25**(1): 329-345.
- [37] Monk C T, Arlinghaus R. Encountering a bait is necessary but insufficient to explain individual variability in vulnerability to angling in two freshwater benthivorous fish in the wild [J]. *PLoS One*, 2017, **12**(3): e0173989.
- [38] Klefoth T, Pieterek T, Arlinghaus R. Impacts of domestication on angling vulnerability of common carp, *Cyprinus carpio*: the role of learning, foraging behavior and food preferences [J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2013, **20**(2-3): 174-186.
- [39] Koeck B, Závorka L, Aldvén D, *et al.* Angling selects against active and stress-resilient phenotypes in rainbow trout [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2018, **76**(2): 320-333.
- [40] Biro P A, Post J R. Rapid depletion of genotypes with fast growth and bold personality traits from harvested fish populations [J]. *PNAS*, 2008, **105**(8): 2919-2922.
- [41] Vainikka A, Tammela I, Hyvärinen P. Does boldness explain vulnerability to angling in Eurasian perch *Perca fluviatilis* [J]? *Current Zoology*, 2016, **62**(2): 109-115.
- [42] Redpath T D, Cooke S J, Suski C D, *et al.* The metabolic

and biochemical basis of vulnerability to recreational angling after three generations of angling-induced selection in a teleost fish [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2010, 67(12): 1983-1992.

[43] Redpath T D, Cooke S J, Arlinghaus R, *et al.* Life-history traits and energetic status in relation to vulnerability to angling in an experimentally selected teleost fish [J]. *Evolutionary Applications*, 2009, 2(3): 312-323.

EFFECT OF ANGLING INTENSITY ON THE VULNERABILITY TO ANGLING AND GROWTH OF JUVENILE CRUCIAN CARP

CHEN Huan, HE Yan, LIU Xiao-Ling and ZENG Ling-Qing

(Laboratory of Evolutionary Physiology and behavior, Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: The vulnerability to angling refers to the stable difference in the probability of being caught among individuals within a fish species, which is easy to be affected by various environmental factors. Fish in nature are affected by human angling activities, but the characteristics of the effects of different angling intensities on the vulnerability to angling and growth of the Cyprinidae fishes are not clear. In order to investigate the effects of different angling intensities on the vulnerability to angling and growth performance of the Cyprinidae fishes in the Yangtze River, the juvenile crucian carp (*Carassius auratus*) was used as the experimental object in this study under the condition of the laboratory (26.9 ± 0.1)°C, angling with different intensities for three treatment groups that have similar size and physical fitness, three treatment groups [high frequency group (angling once a day), medium frequency group (angling once every two days) and low frequency group (angling once every four days)]; three parallel groups were set up in each angling treatment group, including 40 fishes in each parallel group. After 10 hours of angling in each repetition, the angling activities of the group were stopped. The angling time, angling serial number and electronic information of each fish successfully fished were recorded. The angling ratio, individual fish angling interval, average angling serial number and its coefficient variation as well as the specific growth rate of fish during the experimental period (9d) were all calculated. The results showed that the angling proportion of the three angling intensity groups decreased with the increase of angling times, and the individual angling interval showed an increasing trend with angling time increased, which results in a negative correlation between angling proportion and individual angling interval. Except for the low intensity treatment, the average angling serial number of both the high and medium angling intensity treatments showed a decreasing trend with the increase of the angling times, and the coefficient variation of the average angling serial number of the two intensity treatments increased with the increase of the angling times. The average angling serial number of the three treatment treatments was negatively correlated with its variation coefficient. The specific growth rates of the three angling intensity treatments were all negative during the experiment, but there was no significant difference among the three groups. Our results suggested that high intensity angling activities can reduce vulnerability to angling of the juvenile crucian carp, and it can lead to obvious negative angling effect of individual growth, which shows that high-intensity fishing activities may affect vulnerability to angling and evolutionary trajectory of other related phenotypes of the wild fish populations.

Key words: Vulnerability to angling; Angling intensity; Angling proportion; Angling time; Ecological consequences