

锦鲤幼鱼的社群等级地位及其与标准代谢率、 血糖和临界游泳能力的关系

陈永鹏^{1,2}, 曹振东^{1,2,*}, 付世建^{1,2}

(1. 重庆师范大学进化生理与行为学实验室; 2. 重庆市动物生物学重点实验室, 重庆 400047)

摘要: 在 $(25.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 实验室条件下, 考查标记后体重相近的 30 尾锦鲤幼鱼 ($3.5 \pm 0.1\text{g}$) 的标准代谢 (standard metabolic rate, SMR), 然后将实验鱼分为 10 个组 (每组 3 尾); 分别以好斗行为和摄食成功率两个指标将各组实验鱼评估为 3 个不同的社群等级; 再分别测定各等级地位实验鱼的 SMR、血糖浓度和临界游泳速度 (critical swimming speed, U_{crit})。结果显示: 锦鲤幼鱼 3 个等级地位由高到低的摄食成功率分别为 $(51.2 \pm 1.61)\%$ 、 $(29.3 \pm 1.87)\%$ 、 $(19.5 \pm 0.73)\%$; 好斗行为指标得分分别为 (8.1 ± 0.30) 、 (1.9 ± 0.30) 、0.0, 两个评估指标均存在显著性差异 ($P < 0.05$); U_{crit} 分别为 (35.5 ± 0.22) 、 (33.7 ± 0.66) 、 $(29.8 \pm 1.02)\text{cm/s}$, 血糖浓度分别为 (3.4 ± 0.22) 、 (4.2 ± 0.30) 、 $(4.5 \pm 0.33)\text{mmol/L}$ ($P < 0.05$); 而评估前、后各等级之间实验鱼的 SMR 均没有显著差异 ($P > 0.05$)。结果表明: 锦鲤幼鱼存在着明显社群等级分化的现象; 好斗行为和摄食成功率两个指标分别对社群等级地位的评估结果具有显著的一致性; 实验鱼等级地位越高其游泳能力越强, 血糖浓度越低; 这一现象提示, 高等级地位的鱼受到较低的社群胁迫且具有较高的生理适合度。

关键词: 锦鲤 (*Carassius auratus*); 社群等级; 标准代谢率; 血糖浓度; 临界游泳速度

Social status of juvenile *Carassius auratus* and its relationship with standard metabolic rate, critical swimming speed and blood glucose concentration

CHEN Yongpeng^{1,2}, CAO Zhendong^{1,2,*}, FU Shijian^{1,2}

1 Laboratory of Evolutionary Physiology and Behaviour, Chongqing 400047, China

2 Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing 400047, China

Abstract: The social status of alican blue-marked juvenile crucian carp ($n = 3/\text{group}$, total 3 groups, $w: (3.5 \pm 0.1)\text{g}$) was divided into 3 levels based on values of successful feeding rate and aggressive behaviour at $(25.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$. Prior to social status identification, standard metabolic rate (SMR) for each fish was determined. After fish were grouped into their respective social level using aggression behavior and feeding rate as parameters, blood glucose concentrations and critical swimming speed (U_{crit}) were measured. The successful feeding rate of juvenile crucian carp of 3 social status levels (high to low) were $(51.2 \pm 1.61)\%$, $(29.3 \pm 1.87)\%$ and $(19.5 \pm 0.73)\%$; meanwhile the aggressive behaviour scores were (8.1 ± 0.30) , (1.9 ± 0.30) and 0.0, respectively ($P < 0.05$). However, the U_{crit} in fish with different social status (high to low) were (35.5 ± 0.22) , (33.7 ± 0.66) and $(29.8 \pm 1.02)\text{cm/s}$ ($P < 0.05$) and the blood glucose concentrations were (3.4 ± 0.22) , (4.2 ± 0.30) and $(4.5 \pm 0.33)\text{mmol/L}$ ($P < 0.05$). There was no significant difference in SMR of fish of different social status before and after social status was established and identified ($P > 0.05$). The results showed that social hierarchy is present in juvenile crucian carp and can be consistently determined using feeding success rate and aggressive behavior as the indicators. Furthermore, fish of higher social status had a higher swimming capacity and lower blood glucose concentrations which may imply lower levels of stress and a greater fitness of physical activity.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30700087)

收稿日期: 2009-06-08; **修订日期:** 2009-11-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: z. d. cao@ hotmail. com

Key Words: *Carassius auratus*; social status; SMR; glucose concentration; U_{crit}

由于环境资源的相对短缺和空间分布的异质性,硬骨鱼类种群在自然界和实验室条件下个体间普遍存在着社群等级地位的分化现象^[1-3]。社群等级地位越高的个体占据优势资源的可能性就越大,进而会有更高的存活率且利于繁殖^[1]。鱼类个体间通过相互挑衅、发动攻击、彼此争斗等方式以确定社群等级地位^[4-7];水体环境类型与鱼类适应方式等方面的不同,常常会导致社群等级地位的形成机制呈现多样性和复杂性^[7];已有研究发现鱼类的社群等级地位与标准代谢率、激素水平、血糖浓度和运动能力等生理指标之间存在着某种关联^[7-8]。其中标准代谢率(standard metabolic rate, SMR)指鱼类在安静、禁食状态下的代谢能量消耗,在一定程度上反映鱼体的整体生理状况^[9-10];而临界游泳速度(critical swimming speed, U_{crit})是评价鱼类有氧运动能力的重要指标,对鱼类的运动、捕食、繁殖等行为以及扩大生存环境都有重要的生态学意义^[11-12]。生理指标的差异和变化有助于探讨鱼类社群等级地位的形成机制^[7]。目前国际上相关研究多以肉食性的鲑鳟(*Oncorhynchus mykiss*)鱼类为对象,而关于生活在暖水水域杂食性鱼类的相关报道较少。

锦鲤(*Carassius auratus*)为一种被广泛人工饲养的杂食性鱼类,目前以此鱼种为对象的研究涉及生物学的多个领域^[13-16]。该种杂食性鱼类是否也存在着明显的社群等级地位差异;在等级地位分化的过程中不同评估指标的反应是否一致;社群等级地位与生理指标之间是否存在着关联。为此本研究选取锦鲤幼鱼为实验对象,以好斗行为和摄食成功率两个指标分别进行社群等级地位的评估,揭示其等级分化的现象;并通过测定 SMR、血糖浓度和 U_{crit} ,探讨社群等级地位与生理状态的关系,旨在为鱼类行为生态学研究提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 实验鱼的来源及其驯化

于 2008 年 12 月在重庆市沙坪坝花鸟市场购买大小相近(体长为 (4.8 ± 0.1) cm,体重为 (3.5 ± 0.1) g)、体格健康的锦鲤幼鱼,放入重庆师范大学进化生理与行为学实验室自净化循环控温水槽($1.2\text{ m} \times 0.55\text{ m} \times 0.55\text{ m}$,实际水量 250L,专利号:200520010485.9)驯养 2 周,实验用水为曝气后的自来水,日换水量约为总水体的 10%,以充气泵不断向水体充入空气以使溶氧接近饱和。驯化温度为 (25.0 ± 0.5) °C,光制为 14L:10D,光照度约为 18 lx (DT-1300,香港)。驯养期间以商业颗粒沉性饵料(通威饲料有限公司,重庆永川)每天早晚(9:00、18:00)饱足投喂 2 次,投喂前清除残饵和粪便。驯化期间无个体死亡。

1.2 实验方案与操作方法

从驯养 2 周后的幼鱼中挑选健康的 30 尾作为实验鱼,共设为 10 重复组,每组 3 尾,组内个体体重十分接近(表 1)。以 0.1 mg/L 的 MS-222 (Sigma 公司,美国圣路易斯)对实验鱼进行麻醉,然后在其背部肌肉的左右两侧用阿利新蓝(Alican,进口分装,上海化学试剂公司)染料做点状标记^[4-5]。将标记后的 30 尾鱼分别放入 30 个养殖单元(容量为 5L)驯化 1 周。再将实验鱼转入本实验室自行设计的流水式呼吸仪(Flowthrough respirometer,专利号:200520010482.5)中进行 SMR 的首次测定;然后将每组实验鱼放入鱼类社群等级地位评估装置中(图 1),进行等级地位评估;接着转入呼吸室再次测定 SMR;随后测定实验鱼的 U_{crit} ;最后断尾取血测定血糖浓度。实验温度均为 (25.0 ± 0.5) °C。

1.3 测定方法

1.3.1 耗氧量的测定与 SMR 的计算

测定耗氧量采用本实验室自行设计的流水式呼吸仪^[14]。实验前将禁食 24h 实验鱼移入管状结构的呼吸室($V=38\text{ ml}$, $d=1.7\text{ cm}$),待其在呼吸室休息 15h 后测定其耗氧率。各呼吸室流速为 40—50 mL/min,分别用溶氧仪(HQ20, Hach Company, Loveland, Colorado, USA)于 9:00、15:00、21:00 3 次测定溶氧值和水流速度;将计算结果的平均值作为每尾实验鱼的耗氧率^[14]。

标准体重耗氧率(V_{O_2} , mg/(h·kg))的计算公式:

$$V_{O_2} = \Delta O_2 \times v \times (1/m)^{0.75} \quad (1)$$

式中, ΔO_2 是空白呼吸室 (mg/L) 与实验鱼呼吸室的溶氧差值, v 是实验鱼呼吸室的水流速度 (水流速度用呼吸室出水口 1min 水流量计算后得出), m 为鱼体体重 (kg); 0.75 为体重校正指数。

1.3.2 社群等级地位的确定

将实验鱼 3 条一组放进圆形社群等级地位评估装置 (图 1) 中, 分别于 9:00 和 18:00 通过投饵管定点 (出口位于水槽正中的下方 10cm) 进行投喂, 每次投喂的单颗饵料被摄食后再继续投喂, 共 5 颗; 记录每条鱼成功摄食的饵料次数, 计算每条鱼的摄食成功率, 摄食成功率 = (摄食颗数/总的投喂颗数) $\times 100\%$ [17]。经测算 5 颗饵料总量不及一尾实验鱼平均饱足水平的 30%。在此期间每隔 2h 连续观察好斗行为 5min 并记录得分情况; 追赶其它个体一次记 1 分, 被追赶则为 0 分。最后分别以好斗行为得分和摄食成功率 2 个指标将各组实验鱼评估为 3 个不同的社群等级 [4-5, 17-18]。

1.3.3 临界游泳速度 (U_{crit}) 的测定

U_{crit} 采用本实验室自行研制的压差式鱼类游泳能力测定装置 (专利号: 200520010485.4) 中进行测定, 其主要工作原理 [19] 为: 由水位恒定的上位液面和排水液面的垂直高度确保稳定的供水水压; 在入水口和游泳管之间安装有用于标定流速的流量计和 6 组并联水阀, 每组水阀包括 2 个串联的水阀, 其中 1 个为调速阀, 用于不同的水流速度设定, 另一个为截止阀, 用于选择调节阀所设置的水流速度, 游泳管内的两端各安装一个多孔的导流板, 以使游泳管截面各处水流大小和方向一致, 同时还可以防止实验鱼逃逸。

在预备实验中, 采用 Brett 的测定程序 [20] 测定实验鱼的 U_{crit} 的估计值。在实验测定过程中将单尾实验鱼放入游泳管中适应 1h 以消除转移过程的胁迫。适应期间管内流速为 5 cm/s (约 1 BL/s, BL: body length), 随后将流速在 5min 之内提高至 15cm/s (约为 50% U_{crit} 估计值), 实验鱼连续游泳 15min 后再将速度增加 5 cm/s, 依此不断提升水流速度直至实验鱼体力竭 [21-22]; 记录实验鱼力竭时的水流速度和持续时间。力竭状态的判定标准依照相关文献 [23]。 U_{crit} 的计算公式如下:

$$U_{crit} = U + (t/T)\Delta U \quad (2)$$

式中, U_{crit} 为绝对临界游泳速度, U 为完成设定历时 (15min) 中的最大游泳速度, ΔU 是各速度梯度的流速增量 (5 cm/s), T 是在各速度梯度下设定的持续游泳历时 (15min), t 是最后一级流速的实际历时 ($t < 15$ min), 因为本研究实验鱼身体的横截面积未超过游泳管横截面积的 10%, 故无需 U_{crit} 校正 [24]。

1.3.4 血糖的测定

U_{crit} 测定完成后, 实验鱼被重新放回社群等级地位评估装置中恢复驯养 1 周后进行麻醉, 称重并断尾取血, 取血过程在 1min 之内完成 [25]。血液样品用内壁附有抗凝剂 (肝素钠) 的毛细管收集; 在 4℃ 下静置 2h 后低温离心 (4℃, 3000r/min 离心 10min), 吸取上层血清置于 -80℃ 下保存待测; 采用邻甲苯胺法测定血糖。

1.4 数据分析

实验数据采用 EXCELL (2000) 进行数据常规计算, 然后采用 STATISTICA4.5 进行单因素分析 (ANOVA), 如差异显著再采用多重比较 (Duncan's test); 统计数值均以平均值 $\pm$ 标准误 (Mean $\pm$ SE) 表示, 显著性 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 实验鱼社群等级地位的评估

通过观察各组实验鱼的好斗行为, 发现锦鲤幼鱼具有明显的争斗现象; 3 个等级地位由高到低的好斗行为得分分别为 8.1 ± 0.30 、 1.9 ± 0.30 、 0.0 ($P < 0.01$); 观察并记录各组实验鱼的摄食状况, 经计算得到各尾鱼

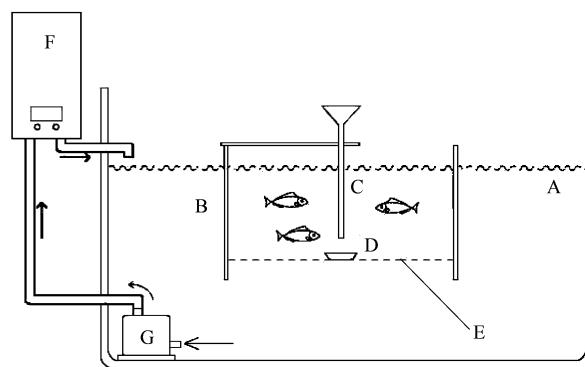


图1 鱼类社群等级地位评估装置

Fig. 1 Fish social status determination device

A. 水浴水槽; B. 行为观察水槽 ($d=35$ cm); C. 投饵管; D. 饵料托盘; E. 纱网 (60 目); F. 近代温及水处理系统; G. 水泵

的摄食率并统计得到各组实验鱼 3 个等级地位由高到低的平均摄食成功率分别为 $(51.2 \pm 1.61)\%$ 、 $(29.3 \pm 1.87)\%$ 、 $(19.5 \pm 0.73)\%$ ($P < 0.01$)。上述两个指标的结果均表明锦鲤幼鱼存在着明显的等级分化现象。另外,以各组争斗行为得分为自变量,摄食成功率为因变量进行直线回归,发现二者之间存在显著正相关(图 2; $P < 0.01$)。

2.2 不同等级地位的 SMR 和血糖浓度

锦鲤幼鱼在 3 个等级确定前后处于统治地位的实验鱼均呈现较高的 SMR 水平,但未见显著差异 ($P > 0.05$);且 3 个等级之间也没有差异 ($P > 0.05$, 表 1)。而从高到低不同等级的血糖浓度分别为 (3.4 ± 0.22) mg/L、 (4.2 ± 0.30) mg/L、 (4.5 ± 0.33) mg/L,其中居统治地位的血糖浓度比 2、3 等级的低,存在显著差异 ($P < 0.05$),而 2、3 等级之间的血糖浓度没有显著差异 ($P > 0.05$) (图 3)。可见锦鲤幼鱼等级地位越高,血糖浓度越低。

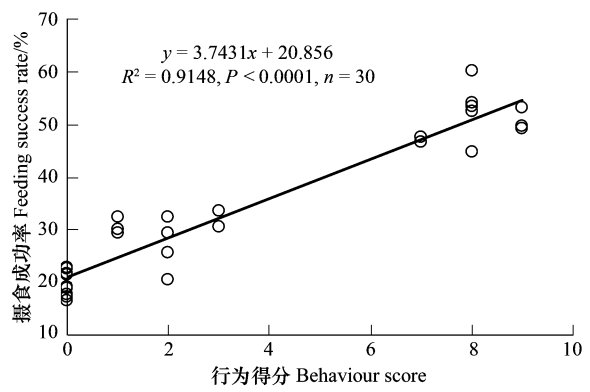


图 2 锦鲤幼鱼 3 个等级的摄食成功率和行为得分的关系
Fig. 2 The relationship between feeding success rate and behaviour score in juvenile crucian carp of three different social status

表 1 锦鲤幼鱼的 3 个不同社群等级的个体的体长、体重及其标准代谢率(平均值 $\pm$ 标准误)

Table 1 The body length, body weight and SMR in juvenile crucian carp of three different social status (Mean $\pm$ SE)

实验参数 Parameters	社群等级地位 Social status		
	一等级 Dominant	二等级 Second status	三等级 Subordinate
重复数 Number of replications	10	10	10
体长 Length/cm	4.7 $\pm$ 0.05	4.85 $\pm$ 0.07	4.76 $\pm$ 0.08
体重 Weight/g	3.4 $\pm$ 0.11	3.5 $\pm$ 0.08	3.5 $\pm$ 0.08
地位确定前的标准 O ₂ 代谢率 SMR before confinement/(mL kg ⁻¹ h ⁻¹)	71.5 $\pm$ 3.72a	64.0 $\pm$ 4.73a	67.2 $\pm$ 3.88a
地位确定后的标准 O ₂ 代谢率 SMR after confinement/(mL kg ⁻¹ h ⁻¹)	71.4 $\pm$ 5.45a	62.9 $\pm$ 4.53a	67.1 $\pm$ 4.05a

a, b, c 表示同一行数据上标字母不同者差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 3 个等级地位的临界游泳速度 (U_{crit})

本研究对 10 组 30 尾锦鲤幼的 U_{crit} 进行测定,从高到低 3 个等级的平均值分别为: $(35.5 \pm 0.60)\%$ 、 $(33.7 \pm 0.66)\%$ 、 (29.8 ± 1.03) cm/s,整体趋势表现出随等级地位上升实验鱼的 U_{crit} 呈增加趋势(图 4);其中 U_{crit} 的平均值第 1 等级高于第 2 等级,2 等级高于 3 等级;1、2 等级没有显著差异,但 1、2 等级与 3 等级之间有显著差异 ($P < 0.05$; 图 4)。实验结果表明小群体中锦鲤幼鱼的等级地位越高其有氧运动能力越强。

3 讨论

3.1 评估社群等级地位的不同指标的比较

鱼类社群等级地位评估方法和评估指标的选用是一个备受关注的问题。有关冷水性鲑鳟鱼类的相关研究主要以好斗行为、占区行为和摄食成功率 3 种不同指

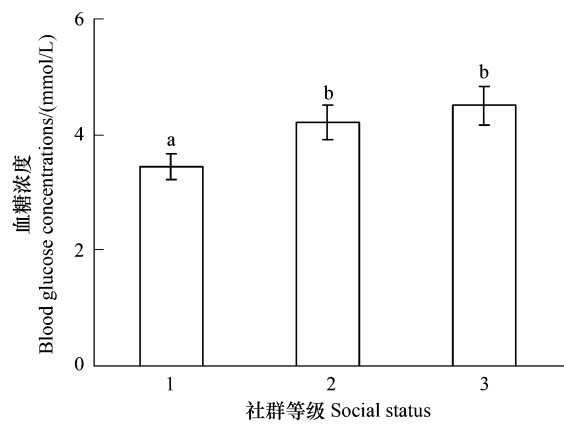


图 3 锦鲤幼鱼社群等级地位与血糖浓度的关系
Fig. 3 The relationship between social status and blood glucose concentrations of juvenile crucian carp

注:柱形上标字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$, 平均值 $\pm$ 标准误)

标评估鱼类的社群等级地位^[6,17];同时使用 3 种方法评估北极嘉鱼(*Arctic charr*)所得出的结果并不尽一致^[17];在有关鲑鳟鱼类的相关研究中,通常采用摄食成功率和占区行为两个指标对社群等级地位进行评估,这两个指标评估的结果具有较好的一致性^[18,26]。冷水性鲑鳟鱼是凶猛的肉食性鱼类,通常在较短的时间即完成等级地位的分化与确定,以致出现较低频率的好斗行为难以观察;因此相关研究中较少地采用好斗行为作评估指标。

本研究对小群体中锦鲤幼鱼的等级地位的评估所采用的装置为圆形截面的水体,空间对称性较高,饵料投喂管固定于水体中间,故选用好斗行为和摄食率两个指标进行等级地位的评估。实验结果表明 10 个重复组实验鱼各等级间的好斗行为指标、摄食率指标均差异显著;上述两个指标对 3 个等级的评估结果是平行的,两个指标之间经统计检验存在着显著的正相关(图 1);表明本研究对锦鲤幼鱼社群等级的评估指标的选择是合理的。通过分析比较好斗行为得分和摄食成功率两个指标的结果不难发现:统治地位实验鱼的好斗行为得分是从属等级的 4 倍多,而摄食成功率却不足 3 倍,说明杂食性鱼类与肉食性的鲑鳟鱼不同,它的好斗行为易于观察并且与等级低位之间存在紧密关联,因此好斗行为指标不仅可能是评估杂食性鱼类社群等级地位的一个可用的指标,而且还可能是一个重要的指标。

3.2 等级地位与 SMR、运动能力和血糖的关系

通常鱼类的社群压力对较低等级个体的影响过程可划分为 3 个阶段:最初体内的可的松等激素水平升高;导致随后的新陈代谢发生变化(葡萄糖、乳酸代谢增加,组织中的糖原含量降低);进而使鱼类的游泳能力和生长率呈现出下降的趋势^[7,27]。有研究者发现具较高社群等级地位的鱼类具有较高的 SMR,即社群等级地位可能与 SMR 呈正相关^[28];也有资料显示高等级地位的个体却具有较低的 SMR,可能由于统治地位的个体不易被从属的其他个体威胁所致^[5];褐鳟的结果则显示(*Salmo trutta* (L.))等级地位与 SMR 不存在显著关联^[18];本研究发现锦鲤幼鱼在等级地位确定前后的 SMR 没有显著差异,并且 3 个等级之间也不存在显著的关联(表 1),这一结果支持上述有关褐鳟研究的结论。

3.2 等级地位与 SMR、运动能力和血糖的关系

通常鱼类的社群压力对较低等级个体的影响过程可划分为 3 个阶段:最初体内的可的松等激素水平升高;导致随后的新陈代谢发生变化(葡萄糖、乳酸代谢增加,组织中的糖原含量降低);进而使鱼类的游泳能力和生长率呈现出下降的趋势^[7,27]。有研究者发现具较高社群等级地位的鱼类具有较高的 SMR,即社群等级地位可能与 SMR 呈正相关^[28];也有资料显示高等级地位的个体却具有较低的 SMR,可能由于统治地位的个体不易被从属的其他个体威胁所致^[5];褐鳟的结果则显示(*Salmo trutta* (L.))等级地位与 SMR 不存在显著关联^[18];本研究发现锦鲤幼鱼在等级地位确定前后的 SMR 没有显著差异,并且 3 个等级之间也不存在显著的关联(表 1),这一结果支持上述有关褐鳟研究的结论。

由于低等级个体处于高度的紧张的应激状态,可的松浓度因此立即增加,同时会导致血糖水平的上升;Perter 等人认为较低等级的个体会通过提高血糖的浓度来增加应对社群压力的短期能量需求^[7];本研究有关等级地位与血糖浓度关系的结果支持这一观点。另外,处于低等级地位个体的很多生理功能都会受到不利的影响,其中运动能力下降的现象已被揭示^[27];本研究表明,锦鲤幼鱼的等级地位越高则游泳能力(U_{crit})越强(图 4);这一现象与上述报道相似。然而本研究在实验鱼遭遇社群压力之前并未测定 U_{crit} ,因此尚不能确定实验鱼存在的运动能力差异是由社群压力所致;尽管社群压力可能会使从属地位的锦鲤幼鱼运动能力下降;但也可能等级地位的确定依赖于运动能力的初始水平,即运动能力越强的个体就越有可能占据统治地位。鱼类在生理上存在的差异究竟哪些是形成等级地位分化的原因,而哪些是等级地位分化后所产生的结果,尚待深入研究。

References:

- [1] Metcalfe N B, Huntingford F A, Graham W D, Thorpe J E. Early social status and the development of life-history strategies in Atlantic salmon. *Proceedings of The Royal Society of London B Biological Sciences*, 1989, 236: 7-19.
- [2] Scott D B C, Currie C E. Social hierarchy in relation to adrenocortical activity in *Xiphophorus helleri* Heckel. *Journal of Fish Biology*, 1980, 16: 265-277.

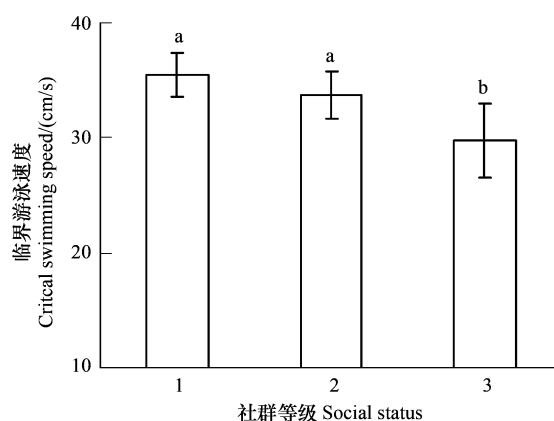


图 4 锦鲤幼鱼社群等级地位与临界游泳能力的关系

Fig. 4 The relationship between social status and critical swimming speed of crucian carp

注:柱形上标字母相同表示差异不显著($P > 0.05$, 平均值 $\pm$ 标准误)

- [3] Koebele B P. Growth and size hierarchy effect: an experimental assessment of three proposed mechanisms; activity differences, disproportional food acquisition, physiological stress. *Environmental Biology of Fishes*, 1985, 12: 181-188.
- [4] Metcalfe N B, Wright P J, Thorpe J E. Relationships between social status, otolith size at first feeding and subsequent growth in Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Animal Ecology*, 1992, 61: 585-589.
- [5] Metcalfe N B, Alan C T, John E T. Metabolic rate, social status and life-history strategies in Atlantic salmon. *Animal Behavior*, 1995, 49: 431-436.
- [6] Metcalfe N B, Huntingford F A, Thorpe J E, Adams C E. The effects of social status on life-history variation in juvenile salmon. *Canadian Journal of Zoology*, 1990, 68: 2630-2636.
- [7] Sloman K A, Armstrong J D. Physiological effects of dominance hierarchies: laboratory artefacts or natural phenomena? *Journal of Fish Biology*, 2002, 61: 1-23.
- [8] Blake R W, Chan K H S. Cyclic feeding and subsequent compensatory growth do not significantly impact standard metabolic rate or critical swimming speed in rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 2006, 69: 818-827.
- [9] Fu S J, Cao Z D, Peng J L. Effect of size on postprandial metabolic response in Chinese catfish (*Silurus asotus* Linnaeus). *Comparative Biochemistry and Physiology, part A*, 2005, 140: 444-451.
- [10] Fu S J, Xie X J, Cao Z D. Effect of fasting and repeat feeding on metabolic rate in southern Physiology. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 2005, 38(3): 191-198.
- [11] Stobutzki I C, Bellwood D R. An analysis of the sustained swimming abilities of pre-settlement and post-settlement coral reef fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1994, 175: 275-286.
- [12] Swanson C. Interactive effects of salinity on metabolic rate, activity, growth and osmoregulation in the euryhaline milkfish (*Chanos chanos*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1998, 201: 3355-3366.
- [13] Wang X M, Guo L. Progress of Studies on the Origin and Phylogenesis of Gold. *Journal of Tianjin Agricultural College*, 1999, 6(1): 27-30.
- [14] Fu S J, Zeng L Q. Effect of meal size on excess post-exercise oxygen consumption in fishes with different locomotive and digestive performance. *Journal Comparative Physiology, Part A*, 2009, 179: 509-517.
- [15] Xu W, Li C, Cao D C, Yin J S. Melanin observation of visceral peritoneum in transparent color crucian carp, red crucian carp and Koi carp. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(1): 144-148.
- [16] Gomelskv B, Cherfas N, Hnlata G. Studies on the inheritance of black patches in ornamental (koi) carp. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 1998, 50: 134-139.
- [17] Bailey J, Alanara A, Brannas E. Methods for assessing social status in Arctic charr. *Journal of Fish Biology*, 2000, 57: 258-261.
- [18] Sloman K A, Motherwel G L, O'Connor K I, Taylor A C. The effect of social stress on the Standard Metabolic Rate (SMR) of brown trout (*Salmo trutta*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, 23: 49-53.
- [19] Zeng L Q, Cao Z D, Fu S J, Peng J L, Wang Y X. Effect of temperature on swimming performance in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 2009 (153): 125-130.
- [20] Brett J R. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye coho salmon. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1964, 15: 587-605.
- [21] Jain K E, Farrell A P. Influence of seasonal temperature on the repeat swimming performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *The Journal Experimental Biology*, 2003, 206: 3569-3579.
- [22] Jain K E, Hamiltin J C, Farrell A P. Use of ramp velocity test to measure critical swimming speed in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry Physiology A*, 1997, 117(4): 441-444.
- [23] Lee C G, Farrell A P, Lotto A, Hinch S G, Healey M C. Excess post-exercise oxygen consumption in adult Sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon following critical speed swimming. *Journal of Experimental Biology*, 2003, 206: 3253-3260.
- [24] Derek H. A, Wood C M. The interactive effects of feeding and exercise on oxygen consumption, swimming performance and protein usage in Juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *The Journal of Experimental Biology*, 1997, 200: 2337-2346.
- [25] Luo Y P, Yuan L Q, Cao Z D, Xie X J. The study on haematological parameters of *Mystus macropterus* and *Pelteobagrus vachelli* in Jialing River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, 29(2): 161-166.
- [26] Katriina Tiira. Anssi, Laurila. Katja, Enberg. Jorma, Piironen. Sami, Aikio. Esa, Ranta. Craig R. Primmer. Do dominants have higher heterozygosity? Social status and genetic variation in brown trout, *Salmo trutta*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2006, 59: 657-665.
- [27] Bruce A B. Stress in Fishes: A Diversity of Responses with Particular Reference to Changes in Circulating Corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 2002, 42: 517-525.
- [28] McCarthy I D. Competitive ability is related to metabolic asymmetry in juvenile rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 2001, 59: 1002-1014.

参考文献:

- [13] 王晓梅, 郭立. 金鱼起源和系统演化的研究进展. *天津农学院学报*, 1999, 6(1): 27-30.
- [15] 徐伟, 李池陶, 曹顶臣, 尹家胜. 水晶彩鲤、红鲤和锦鲤的腹膜脏层黑色素观察. *中国水产科学*, 2007, 14(1): 144-148.
- [25] 罗毅平, 袁伦强, 曹振东, 谢小军. 嘉陵江大鳍和瓦氏黄颡鱼血液指标的研究. *水生生物学报*, 2005, 29(2): 161-166.