

doi: 10.7541/2013.151

高体鲮鱼的性选择问题研究

廖彩萍^{1,2} 曾 燊¹ 唐琼英¹ 刘焕章¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 中国科学院水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 以高体鲮鱼为研究对象, 分别设置个体大小不同的雌鱼和雄鱼进行性选择实验并验证性选择理论。对雌鱼的怀卵量和雄鱼的空间学习记忆能力也进行了检测。雄鱼对雌鱼的性选择实验结果表明, 雄鱼对大个体雌鱼有明显的选择偏好; 雄鱼选择雌鱼的次数及停留时间与雌鱼的体长、体高、产卵管长度等特征呈正相关。推测雄鱼是基于直接收益的角度, 即最大限度的获得较多的后代及较高的后代存活率对雌鱼进行选择, 因为大个体雌鱼拥有长的产卵管及绝对多的处于V时相的成熟卵粒, 可以提供较多的后代及较高的后代存活率。雌鱼对雄鱼的性选择结果表明, 雌性高体鲮鱼对大个体雄鱼也表现出了明显的偏好; 雌鱼选择雄鱼的次数及停留时间与雄鱼的体长、体高呈正相关; 大个体雄鱼的空间学习记忆能力比小个体强, 能更快捷地找到并占领质量好的河蚌而成为领域鱼。从直接收益的观点看, 雌鱼选择大个体的雄鱼可能是因为大个体雄鱼可以更加容易、迅速和便捷地寻找到质量好的河蚌引领雌鱼进行产卵, 从而保证子代的存活率。

关键词: 高体鲮鱼; 性选择; 选择偏好; 直接收益

中图分类号: Q958.8 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2013)06-1112-06

性选择(Sexual selection)是动物界最重要的行为, 主要是指通过选择过程, 使某一性别个体在寻求配偶时获得比相同性别其他个体更有竞争力的特征。性选择可以分为性别内选择和性别间选择。性别内选择主要是指相同性别内, 不同个体之间的竞争。而性别间选择是不同性别个体之间的选择, 既包括雄性对雌性的选择, 也包括雌性对雄性的选择^[1, 2]。

鱼类种类繁多、分布广泛。在繁殖季节, 很多种类在形态和行为上都会呈现出丰富的多样性, 如雄鱼出现亮丽的婚姻色、在雌性面前“跳舞”, 雌鱼出现产卵管等。另外, 部分鱼类的生活环境可以充分地被人们在实验室内进行模拟, 易于进行实验操作等。因此, 鱼类被认为非常适合进行性选择理论验证的实验动物^[3, 4]。关于鱼类雄性个体对雌性个体选择偏好的研究有较多报道^[5-7]。对三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)的研究结果表明, 雄性个体会选择体型大而丰满的雌性个体作为配偶^[8], 这种现象在其他鱼类中也普遍存在^[5, 6]。但在某些鱼类中, 雄鱼

对不同大小个体的雌鱼并没有特殊的喜好^[8, 9], 有时甚至会选择个体较小的雌鱼作为交配对象^[10]。在雌性个体对雄性个体的选择偏好方面, 对欧洲鲮鱼(*Rhodeus sericeus*)的研究结果表明, 大个体的雄鱼比小个体的雄鱼更能吸引雌鱼^[6, 11]。

高体鲮鱼(*Rhodeus ocellatus*)隶属于鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae)、鲮亚科(Acheilognathinae)、鲮属(*Rhodeus*), 是一种小型淡水鱼类, 主要分布在亚洲的中国、朝鲜、日本和越南等地。在繁殖季节, 雄性个体会披上美丽的婚姻色, 雌性个体则会生长出一条可以周期性收缩的产卵管, 将卵产在河蚌的鳃腔内。本论文以高体鲮鱼为实验对象, 研究其雌雄个体性选择的偏好问题, 从而分析和理解鱼类性别间的性选择差异是如何呈现的或者有哪些规律可循?

1 材料与方法

1.1 实验鱼及河蚌的采集与饲养

实验所用高体鲮鱼均于2009年采自湖北省大冶

收稿日期: 2012-10-08; 修订日期: 2013-07-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30970443); 中国科学院重点实验室自选项目(Y12Z08)资助

作者简介: 廖彩萍(1981—), 女, 湖北天门人; 主要从事鱼类行为学研究。E-mail: caiping824@ihb.ac.cn

通信作者: 刘焕章, 男, 研究员; E-mail: hzliu@ihb.ac.cn

市保安湖渔场。实验鱼饲养在中国科学院水生生物研究所鱼类行为学实验室养鱼房鱼缸内, 雌雄分开饲养。养殖环境尽量保证接近实验鱼生活的自然环境。饲养期间, 每天给实验鱼喂食足够的从市场购买的冷冻红虫(即摇蚊幼虫)和颗粒饲料。整个实验均在 5—7 月完成, 这个时期与在自然环境中高体鳊的繁殖时期是保持一致的。实验期间控制光周期, 光照与黑暗的时间比为 12 : 12。

实验中使用的河蚌为圆顶珠蚌(*Unio douglasiae*), 均来自于高体鳊采集地。河蚌饲养在水生所鱼类行为学实验室养鱼房的水泥回形池内。喂养河蚌的食物为自然培养的藻水, 每日喂食两次。

1.2 实验鱼和河蚌的选择

在雄性高体鳊对雌性高体鳊性选择的实验中, 选择已经到达性成熟的雄性高体鳊 12 尾; 产卵管达到最长状态的雌鱼 24 尾, 并按照体长的相对大小分为大个体和小个体两组。在雌性高体鳊对雄性高体鳊性选择的实验中, 选择雌鱼 12 尾, 雄鱼 24 尾, 选择标准及分组同前。河蚌选择标准为可以清楚看到入水孔和出水孔张开或者闭合的个体。

1.3 实验装置及实验过程

性选择实验装置 性选择实验采用目字形实验选择缸(图 1)。实验缸由厚 1 cm 的透明玻璃材料做成, 长 120 cm, 宽 50 cm, 高 50 cm。中间用两块厚度为 1 cm, 长 50 cm, 宽 50 cm, 高 50 cm 的玻璃板分隔成为三个部分。在中间隔板靠近中间的部分, 选择 5 cm 的距离在鱼缸外侧贴上透明胶, 形成观测判定区, 便于实验的判定和观察。

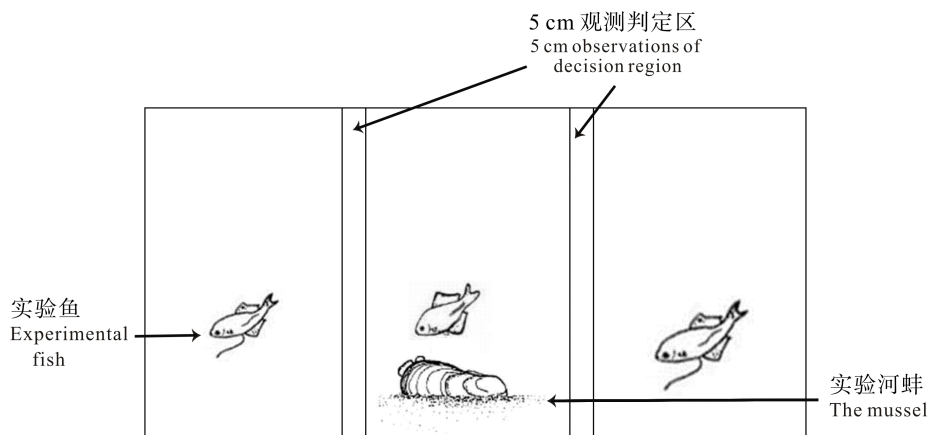


图 1 雄性对雌性的性选择实验所用的选择鱼缸; 雌性对雄性的性选择实验则将雌雄的位置互换

Fig. 1 The tank used for sexual selection experiment of male to female; transposition of male and female for sexual selection experiment of female to male

不同个体大小雄性高体鳊学习能力实验装置在雌性对雄性个体性选择实验中, 为了判断个体大小不同的雄鱼在空间学习记忆能力方面是否有差别, 我们设置了不同大小的雄性高体鳊空间学习记忆能力差异的实验。实验采用十字形实验缸, 实验装置、过程及方法参考朱玉蓉^[12]并略作改动。

性选择实验过程 在雄性对雌性的性选择实验中, 将 1 尾雄性高体鳊和 1 枚河蚌放置于目字形选择鱼缸的中间部分, 然后分别往目字形选择鱼缸的两边放入到达最佳繁殖状态的大个体雌鱼和小个体雌鱼。实验鱼放入选择缸静置 20min 后开始实验。当雄鱼游到 5 cm 观测判定区时被判断为做出选择。实验记录雄鱼分别对大、小雌鱼做出选择的次数和停留的时间。实验共进行 12 组重复, 每次观察时间为 20min。每次实验完成后, 测量雌鱼的体长、体高及产卵管的长度; 用滤纸吸去鱼体的水分, 除去内脏, 测量鱼的空壳重; 取出雌鱼卵巢组织, 用 4% 的福尔马林溶液固定, 对处于不同时相的卵进行计数^[13]。

雌性对雄性个体性选择的实验同上, 只是目字形选择鱼缸的中间换成雌鱼, 两边两个选择缸分别放入一枚河蚌和 1 尾雄鱼。实验完成后, 测量雄鱼的体长和体高。最后进行不同大小的雄性高体鳊空间学习记忆能力差异的实验。

1.4 数据统计与分析

对所有数据使用 SPSS 13.0 进行独立样本 *t* 检验分析; 将所采集的数据按照体长大小分为两组, 使用 SPSS 13.0 中的 ANOVA 检验分析停留次数和时间的差异; 使用相关性分析, 分析所得的选择结果与哪些特征相关。

2 结果

2.1 高体鳊雄性个体对雌性个体的选择

在 20min 内, 雄鱼分别在大、小雌鱼之间停留的平均次数(平均值±标准误)分别为(28.43±3.87)次和(19.17±4.04)次, 平均时间(平均值±标准误)分别为(700.68±86.27)s和(300.13±63.04)s。统计检验结果显示: 雄

鱼对个体大小不同的雌鱼的选择次数无显著差异 (ANOVA $F_{1,22} = 1.028, P = 0.322$; 图 2A), 但雄鱼在大个体雌鱼停留的时间要显著长于小个体雌鱼 (ANOVA $F_{1,22} = 9.397, P = 0.006$; 图 2B)。实验测量

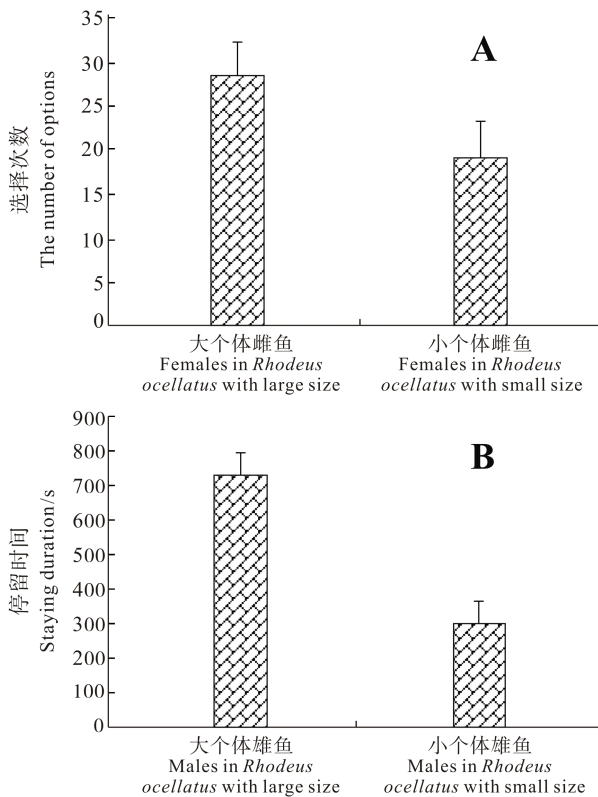


图 2 高体鳊雄鱼对大、小个体雌鱼的选择次数(A)及停留时间(B)(平均值±标准误)

Fig. 2 Selection counts (A) and staying time (B) (Mean ± SE) displayed by males to females in *Rhodeus ocellatus* with large or small sizes

了大、小个体雌鱼的体长、体高和产卵管的长度, 统计检验结果显示: 大小个体不同雌鱼在体长 (ANOVA $F_{1,22} = 28.011, P = 0.000$), 体高 (ANOVA $F_{1,22} = 14.143, P = 0.001$) 和产卵管长度 (ANOVA $F_{1,22} = 166.918, P = 0.000$) 上差异均显著, 但体高与体长的比值 (ANOVA

$F_{1,22} = 0.264, P = 0.613$) 差异不显著。

2.2 雌性高体鳊怀卵量计数

对雌性高体鳊怀卵量计数的结果表明, 12 尾大、小个体雌鱼的平均绝对怀卵量分别为 172 粒、117 粒, 相对怀卵量分别为 161 粒/g、159 粒/g。统计检验结果显示: 个体大小不同雌鱼的绝对怀卵量有显著差异 (ANOVA $F_{1,22} = 18.972, P = 0.000$), 但相对怀卵量无明显差异 (ANOVA $F_{1,22} = 0.050, P = 0.825$)。对处于不同时相的卵分别进行计数, 结果显示, 三种不同时相的卵的数目有显著差别: V 时相的卵为成熟卵粒, 大个体雌鱼的成熟卵粒数显著多于小个体雌鱼 (ANOVA $F_{1,22} = 5.386, P = 0.030$); IV 时相的卵为将发育成 V 时相的卵, 统计结果显示大个体 IV 时相的卵要显著多于小个体的 (ANOVA $F_{1,22} = 18.624, P = 0.000$); III 时相的卵较 IV 时相的卵小, 但数目庞大, 大个体 III 时相的卵显著多于小个体雌鱼的 (ANOVA $F_{1,22} = 10.333, P = 0.004$)。

相关分析检验的结果表明, 雄鱼选择雌鱼的选择次数与雌鱼的体高、体高体长的比值呈现正相关性; 停留时间与体长、体高、产卵管长度、产卵管长度体长比值、绝对怀卵量呈现正相关性 (表 1)。

2.3 高体鳊雌性个体对雄性个体的选择

在 20min 内, 雌鱼分别在大、小雄鱼之间停留的平均次数 (平均值±标准误) 分别为 (18.50±2.67) 次和 (11.25±2.23) 次, 平均时间 (平均值±标准误) 分别为 (827.86±67.80) s 和 (270.81±69.16) s。统计检验结果显示: 雌鱼选择大个体雄鱼的次数显著多于选择小个体雄鱼的次数 (ANOVA $F_{1,22} = 4.338, P = 0.049$; 图 3A), 而且雌鱼在大个体雄鱼一边停留的时间也极显著地长于小个体雄鱼 (ANOVA $F_{1,22} = 33.080, P = 0.000$; 图 3B)。实验测量了不同大小个体雄鱼的体

表 1 高体鳊雄鱼选择次数和停留时间与雌鱼体高、体长、体高/体长、产卵管长、产卵管长/体长和绝对怀卵量的相关关系

Tab. 1 The correlation between both selection counts and staying time displayed by males in associate with body depth, standard length, ratio of body depth to standard length, ovipositor length, ratio of ovipositor length to standard length, absolute fecundity of females in *Rhodeus ocellatus*

		体高 Body depth	体长 Standard length	体高/体长 Ratio of body depth to standard length	产卵管长 Ovipositor length	产卵管长/体长 Ratio of ovipositor length to standard length	绝对怀卵量 Absolute fecundity
选择次数	Pearson Correlation	0.470*	0.242	0.470*	0.271	0.274	0.304
	Sig.(2-tailed)	0.021	0.254	0.021	0.200	0.195	0.148
停留时间	Pearson Correlation	0.375	0.469*	-0.125	0.471*	0.441*	0.505*
	Sig.(2-tailed)	0.070	0.021	0.560	0.020	0.031	0.012

注: *表示在 0.05 水平上显著相关 ($P < 0.05$)

Note: * indicates that correlation is significant at the 0.05 level ($P < 0.05$)

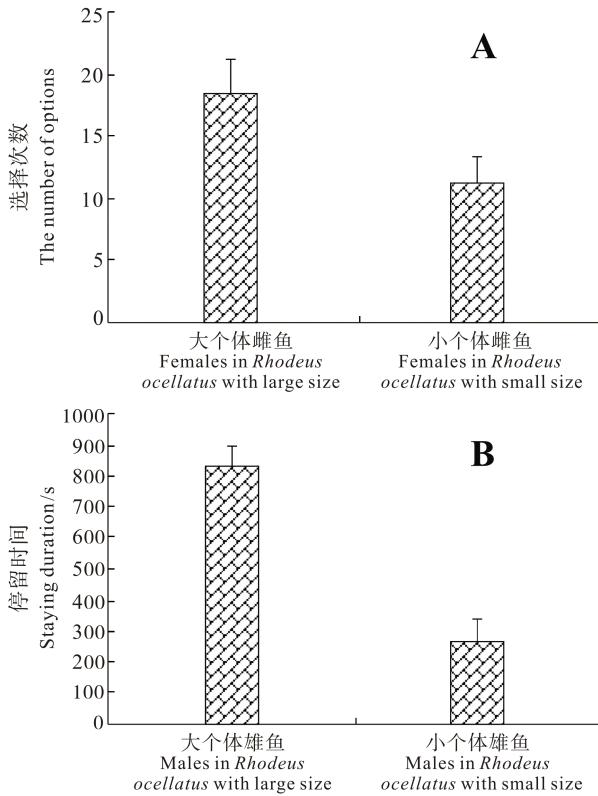


图 3 高体鳊雌鱼对大、小个体雄鱼的选择次数(A)及停留时间(B)(平均值±标准误)

Fig. 3 Selection counts (A) and staying time (B) (Mean ± SE) displayed by females to males in *Rhodeus ocellatus* with large or small sizes

表 2 高体鳊雌鱼的停留次数和时间与雄鱼体长、体高、体高/体长的相关关系突出显示部分加注英文

Tab. 2 The correlation between both selection counts and staying time displayed by females in association with body depth, standard length, ratio of body depth to standard length of males in *R. ocellatus*

		体高 Body depth	体长 Standard length	体高/体长 Ratio of body depth to standard length
选择次数	Pearson Correlation	0.528**	0.448*	0.375
	Sig.(2-tailed)	0.008	0.028	0.071
停留时间	Pearson Correlation	0.691**	0.706**	0.392
	Sig.(2-tailed)	0.000	0.000	0.058

注: *表示在 0.05 水平上显著相关($P < 0.05$), **表示在 0.01 水平上显著相关($P < 0.01$)

Note: * indicates that correlation is significant at the 0.05 level ($P < 0.05$), and ** indicates a significant correlation at the 0.01 level

鳊鱼类的繁殖过程相对其他鱼类如三刺鱼^[8]、丽鱼(*Cichlasoma citrinellum* 和 *C. maculicauda*)^[15]而言要简单一些。因为父母双方都没有筑巢和抚育后代的行为, 它们的主要精力集中在寻找合适的产卵场—河蚌。因此无论是雄鱼还是雌鱼, 都对河蚌的质量要求非常高^[16, 17]。有研究表明, 鳊鱼在河蚌鳃腔内产卵的位置具有选择性, 这个选择性是和雌鱼的产卵管长度相关的^[18]。本研究的结果表明, 大个体雌鱼的产卵管比小个体雌鱼的产卵管长, 推测雄鱼在对雌鱼选择时考虑了产卵管长度带来的好

长、体高及体高体长比值。结果表明: 大个体雄性和小个体雄性在体长(ANOVA $F_{1, 22} = 34.963$, $P = 0.000$)、体高(ANOVA $F_{1, 22} = 68.535$, $P = 0.000$)及体高体长的比值(ANOVA $F_{1, 22} = 14.599$, $P = 0.001$)上均具有显著性差异。

相关性分析结果显示, 高体鳊雌鱼对雄鱼的选择次数与雄性的体长显著相关, 与体高呈现出极显著的相关性; 停留时间与雄性个体的体长和体高都表现为极显著的相关性(表 2)。

2.4 不同个体大小雄性高体鳊空间学习记忆能力

雄性高体鳊空间学习记忆实验表明, 培训对大、小个体雄鱼的空间学习是有效果的, 无论是大个体还是小个体雄鱼, 随着训练次数的增加, 取食消耗的时间均减少。相比较而言, 小个体雄性高体鳊的消耗时间比大个体雄性短。大个体雄鱼在学习训练后, 正确率有明显提高的趋势, 但小个体雄鱼的正确率表现出随机分布的状态。

3 讨论

3.1 高体鳊雄性个体对雌性个体的选择

性选择理论认为, 性选择的发生是基于直接收益(Immediate benefits)或是来自亲代遗传物质的延迟收益(Delayed benefits)即选择“好的基因”^[14]。

处, 即增加后代的存活率。产卵管长的雌鱼相对而言在河蚌鳃腔中产卵的位置会更广。一般高体鳊的产卵管不是特别长, 因此在河蚌鳃腔中产卵的位置会比较集中。另一方面, 由于河蚌鳃腔内的空间有限, 水体的溶氧量是非常短缺的, 鳊鱼幼鱼的存活率必然会受到影响^[19]。如果产卵管较长, 则鱼卵在河蚌鳃腔内的分布会避免过于集中, 进而避免对养分和氧气的竞争, 从而提高子代的存活率。此外, 日本学者^[20]对高体鳊的研究表明, 产卵管的长度还和卵径相关, 产卵管越长, 卵径越大。卵径大说明营养

物质丰富,对子代而言存活率也会大大提高^[21]。

此外,本研究对雌鱼各时相的卵进行统计分析的结果表明,大个体雌鱼体内成熟卵数目(V时相的卵)要显著多于小个体雌鱼。V时相卵数目的多少直接关系到雌性高体鲮在此阶段产出后代的个数。

以上这几点都很好地解释了雄性个体明显偏好选择大个体雌鱼的现象,从而体现了性选择理论中雄鱼基于直接收益的角度对雌鱼进行选择的观点。

3.2 高体鲮雌性个体对雄性个体的选择

本研究结果表明,雌性高体鲮偏好选择个体大的雄性。通过生理特征指标可以判断,大个体的雄性高体鲮具有“身体长,体高高”的优势。身体长、个体高的雄鱼一般是领域鱼^[22]。此外,雄性之间的竞争比较激烈,身体高的雄鱼在雄鱼间的打鬥中具有优势,一般大个体的雄鱼会胜出。高体鲮中,大个体雄鱼在占有河蚌成为领域鱼的成功率是非常高的。从雌鱼的角度考虑,基于直接收益观点,当资源有限时,大个体雄鱼可以基本垄断占有产卵场,利于自己在繁殖期的繁殖成功,避免卵子生成的浪费;从延迟收益观点看,子一代可能遗传大个体雄鱼的优秀品质,因其更加受雌性喜好,从而保证后代中的儿子也会受欢迎。

此外,本研究对大、小个体雄性高体鲮的空间学习记忆能力差异的分析结果表明,大个体雄鱼的空间学习记忆能力比小个体雄鱼更胜一筹。在繁殖季节,鲮鱼类需要找一个合适的繁殖场所即质量上乘的河蚌。在自然条件下,为了寻找好的水质和食物,河蚌会更改栖息地。因此,生活史中离不开河蚌的鲮就需要拥有良好的学习记忆能力。为了最大限度地获得自己的后代,部分雄鱼会垄断对河蚌资源的占有而成为领域鱼,领域鱼会对所有接近河蚌的其他雄鱼表现出强烈的攻击行为^[23]。因此,良好的学习记忆能力和体能对雄性高体鲮而言是非常重要的。

从直接收益的角度分析,雌鱼选择个体较大的雄性可以更加迅速和便捷地寻找到质量好的河蚌进行产卵,以保证子代的存活率。空间学习记忆能力的区别也很好地解释了个体大小不同的雄鱼在繁殖策略中扮演的不同角色。大个体的雄鱼一般扮演领域鱼的角色,小个体的雄鱼则扮演伺机者或成为机会主义者。作为领域鱼,需要对河蚌的质量进行判断和记忆,因此在训练后正确率有显著的提高;而

作为伺机鱼,只需在亲鱼产卵时“第三者插足”迅速完成排精过程即可,因此需要具备动作灵巧而且反应迅速的特点,这个特点在我们的空间学习实验中的消耗时间的变化上得到了很好的验证。

总之,本研究结果支持在性别间的选择(Intersexual selection)中,异性之间愿意选择个体较大的配偶的结论。异性个体之间做出这样的选择可以最大限度地拥有自己的后代。

致谢:

感谢熊玉宇、陈明、吴金明在采集样本上给予的帮助!感谢俞丹在实验设计中给予的建议!

参考文献:

- [1] Andersson M, Iwasa Y. Sexual selection [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 1996, **11**(2): 53—58
- [2] Andersson M, Simmons L. Sexual selection and mate choice [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2006, **21**(6): 296—302
- [3] Houde A E. Evolution by sexual selection: what can population comparisons tell us [J]? *American Naturalist*, 1993, **141**: 796—803
- [4] Dugatkin L A, FitzGerald G J. Sexual selection [A]. In: Godin J J (Eds.), *Behavioural Ecology of Teleost Fishes* [C]. New York: Oxford University Press. 1997, 226—291
- [5] Smith C, Reichard M. Females solicit sneakers to improve fertilization success in the bitterling fish (*Rhodeus sericeus*) [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Science*, 2005, **272**: 1683—1688
- [6] Smith C, Douglas A, Jurajda P. Sexual conflict, sexual selection and sperm competition in the spawning decisions of bitterling, *Rhodeus sericeus* [J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2002, **51**: 433—439
- [7] McKaye K R. Mate choice and size assortative pairing by the cichlid fishes of Lake Jiloa, Nicaragua [J]. *Journal of Fish Biology*, 1986, **29**: 135—150
- [8] Sargent R C, Gross M R, van den Berghe E P. Male mate choice in fishes [J]. *Animal Behaviour*, 1986, **34**: 545—560
- [9] Keengan-Rogers V, Schultz R Z. Sexual selection among clones of unisexual fish (Poeciliopsis: Poeciliidae): genetic factors and rare female advantage [J]. *American Naturalist*, 1988, **132**: 846—868
- [10] Bisazza A, Marconato A, Marin G. Male mate preferences in the mosquitofish *Gambusia holbrooki* [J]. *Ethology*, 1989, **83**: 335—343
- [11] Reichard M, Bryja J, Ondrackova M, et al. Sexual selection for male dominance reduces opportunities for female mate choice in the European bitterling (*Rhodeus sericeus*) [J]. *Molecular Ecology*, 2005, **14**: 1533—1542

- [12] Zhu Y R. Studies on spatial learning and memory of some freshwater fishes [D]. Thesis for Doctor of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2007 [朱玉蓉. 几种淡水鱼类空间学习与记忆的研究. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2007]
- [13] Liu Y. The Reproductive Physiology of Cultured Fish in China [M]. Beijing: Agriculture Press. 1993, 197 [刘筠. 中国养殖鱼类繁殖生理学. 北京: 农业出版社. 1993, 197]
- [14] Halliday T R. The study of mate choice [A]. In: Bateson P P G (Eds.), Mate Choice [C]. Cambridge: Cambridge University Press. 1983, 3—32
- [15] Barlow G W. Mate choice in the monogamous and polychromatic Midas cichlid, *Cichlasoma citrinellum* [J]. *Journal of Fish Biology*, 1986, **29**: 123—133
- [16] Candolin U, Reynolds J D. Sexual signaling in the European bitterling: females learn the truth by direct inspection of the resource [J]. *Behavioral Ecology*, 2001, **12**: 407—411
- [17] Liu H Z, Zhu Y R, Smith C, *et al.* Evidence of host specificity and congruence between phylogenies of bitterling and freshwater mussels [J]. *Zoological Studies*, 2006, **45**: 428—434
- [18] Zeng Y, Liu H Z, Shen J Z. Choice of oviposition sites on the gills of mussels by bitterlings [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, **52**: 272—278 [曾燊, 刘焕章, 沈建忠. 鲮鱼类产卵时对河蚌鳃不同位置的选择. *动物学报*, 2006, **52**: 272—278]
- [19] Smith C, Rippon K, Douglas A, *et al.* Aproximate cue for oviposition site choice in the bitterling *Rhodeus sericeus* [J]. *Freshwater Biology*, 2001, **46**: 903—911
- [20] Asahina K, Iwashita I, Hanyu I, *et al.* Annual reproductive cycle of a bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus* [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1980, **46**: 299—305
- [21] Chambers R C. Environmental influences on egg and propagule sizes in marine fishes [A]. In: Chambers R C, Trippel E A (Eds.), Early Life History and Recruitment in Fish Populations [C]. New York: Chapman & Hall Press. 1997, 63—102
- [22] Casalini M, Reichard M, Smith C. The effect of crowding and density on male mating behaviour in the rose bitterling (*Rhodeus ocellatus*) [J]. *Behaviour*, 2010, **147**: 1035—1350
- [23] Wiepkema P R. An ethological analysis of the reproductive behaviour of the bitterling (*Rhodeus amarus* Bloch) [J]. *Archives Néerlandaises de Zoologie*, 1961, **14**: 103—199

THE SEXUAL SELECTION OF THE ROSE BITTERLINGS *RHODEUS OCELLATUS*

LIAO Cai-Ping^{1,2}, ZENG Yu¹, TANG Qiong-Ying¹ and LIU Huan-Zhang¹

(1. State Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation of Chinese Academy of Sciences, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Bitterlings are a group of small fishes in the family Cyprinidae with complicated reproductive behavior. In laboratory, they can be easily manipulated to test some hypotheses of reproductive behavior. In the present study, we used the rose bitterling *Rhodeus ocellatus* as model. To understand the general rule of sexual selection in the rose bitterling and test some sexual selection hypotheses, we selected females and males with different body sizes. Meanwhile, we also examined the egg counts of females and spatial learning and memory abilities of males. The sexual selection of male showed that male significantly prefer larger females than smaller ones; both selective frequency and staying time of males to females were positively related to some characters displayed by females, such as standard length, body depth, length of ovipositor, etc. Based on the hypotheses of immediate benefits for males, the reason that males preferred to choose larger females to mate can be explained by the facts that larger females have longer ovipositor and more matured eggs, therefore high fecundity. Similarly, females also significantly prefer to choose larger males than smaller ones; both selective frequency and staying time of females to males were positively related to standard length and body depth; larger males were better in spatial learning and memory than smaller ones, which made them have stronger ability in monopolizing good mussels in reproduction. Subsequently, based on the hypotheses of immediate benefits for females, choosing larger males will improve the survival rate of their descendants since larger males can find and occupy good mussels easily and quickly.

Key words: *Rhodeus ocellatus*; Sexual selection; Selection preference; Immediate benefits