

DOI: 10.12264/JFSC2022-0379

新疆车尔臣河叶尔羌高原鳅繁殖策略

赵金发, 邱龙辉, 周琼, 周小云, 沈建忠

华中农业大学水产学院, 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 湖北 武汉 430070

摘要: 为探究叶尔羌高原鳅(*Triplophysa yarkandensis*)在车尔臣河的繁殖策略, 基于 2019—2021 年在车尔臣河采集的 544 尾叶尔羌高原鳅样本, 对其繁殖群体组成特征、繁殖期、初次性成熟大小、产卵类型、繁殖力等进行了研究和分析。结果显示, 叶尔羌高原鳅的繁殖群体年龄范围为 2~9 龄, 雌雄性比为 1.16 : 1, 属于第二类型($P=K+D$, $K>D$)。观测到的最小初次性成熟体长和年龄为: 雌性 111.0 mm, 2 龄; 雄性 79.0 mm, 2 龄; 初次性成熟体长(SL_{50})和年龄(A_{50})为: 雌性 123.2 mm, 3.16 龄, 雄性 90.9 mm, 2.95 龄。根据不同性腺发育时期出现时间和比例、性腺成熟系数和卵径分布推测叶尔羌高原鳅为分批产卵类型, 繁殖期为 3—8 月, 4—6 月为繁殖盛期。绝对繁殖力平均为 (61407 ± 46143) 粒, 相对繁殖力平均为 (743.87 ± 321.78) 粒/g。车尔臣河叶尔羌高原鳅群体相对于其他水域的叶尔羌高原鳅, 拥有更大的平均体长、平均体重、初次性成熟体长、较高的绝对繁殖力和较低的相对繁殖力, 这是车尔臣河叶尔羌高原鳅群体在食物稀少、生境恶劣且含沙量较大的环境中独特的繁殖策略。

关键词: 车尔臣河; 叶尔羌高原鳅; 繁殖策略; 初次性成熟; 产卵类型; 繁殖力

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2023)05–0548–11

车尔臣河是中国第一大内流河塔里木河的重要支流, 塔里木河九大水系之一, 位于巴音郭楞蒙古自治州境内^[1], 发源于昆仑山脉北坡的木孜塔格峰, 途经塔克拉玛干沙漠, 全长约 813 km, 注入台特玛湖。历史上车尔臣河曾跨过台特玛湖注入罗布泊^[2], 是塔里木盆地东南部径流量最大的河流, 地处沙漠边缘, 与其他支流相比受人类活动干扰较少。作为塔克拉玛干沙漠东部的绿色生命线, 车尔臣河不仅保护了且木县不被沙漠吞噬, 而且为多种生物提供了赖以生存的栖息地, 其中包括扁吻鱼(*Aspiorhynchus laticeps*)、新疆裸重唇鱼(*Gymnoditychus dybowskii*)、塔里木裂腹鱼(*Schizothorax biddulphi*)、隆额高原鳅(*Triplophysa bombifrons*)和叶尔羌高原鳅等新疆特有鱼类^[3–6]。

叶尔羌高原鳅(*Triplophysa yarkandensis*)隶属

于鲤形目(Cypriniformes)、鳅科(Cobitidae)、条鳅亚科(Neomacheilinae)、高原鳅属(*Triplophysa*), 是塔里木河流域特有鱼类, 高原鳅属中体型最大的种类之一^[7]。但由于非法滥捕、水利工程建设和生态环境的破坏, 叶尔羌高原鳅种群数量极速衰减。2004 年发布的《新疆维吾尔自治区重点保护水生野生动物名录》将叶尔羌高原鳅列为 II 级重点保护水生动物, 2015 年的《中国生物多样性红色名录·内陆鱼类》更将其定为易危鱼类^[8–10]。近十几年, 已有众多学者对塔里木河流域的叶尔羌高原鳅进行研究, 包括塔里木河干流^[11]和干流的阿拉尔段^[12]、沙雅段^[13], 以及和田河^[14]、叶尔羌河^[14]、阿克苏河^[15]、渭干河^[16]、克孜河^[17]和康拉克湖^[18]等支流和湖泊, 在这些水域中均发现叶尔羌高原鳅种群数量锐减、个体小型化现象, 但是对于生境恶劣、含沙量高、位置偏远的车尔臣

收稿日期: 2022-10-26; 修订日期: 2023-03-02.

基金项目: 农业农村部财政专项: 西北地区重点水域渔业资源与环境调查.

作者简介: 赵金发(1997–), 男, 博士研究生, 研究方向为鱼类生物学. E-mail: zhaojf2019@163.com

通信作者: 沈建忠, 教授, 研究方向为鱼类生物学、渔业资源监测与评估. E-mail: jzhsh@mail.hzau.edu.cn

河内的叶尔羌高原鳅繁殖群体却未见报道。因此, 本研究将车尔臣河的叶尔羌高原鳅群体作为研究对象, 分析其繁殖种群组成特征和繁殖策略, 探究叶尔羌高原鳅在车尔臣河中的生存机制, 进而弥补塔里木河流域叶尔羌高原鳅生物学研究的不足, 为叶尔羌高原鳅的保护提供科学参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样点与采样时间的设置

在车尔臣河水域共开展了 6 次调查, 调查时间分别为 2019 年的 5 月(春季)、8 月(夏季)、10 月(秋季)和 2020 年的 6 月(夏季)、11 月(秋季)以及 2021 年的 4—5 月(春季)。出于野外采样安全以及采集样本具有代表性的考虑, 通过实地考察与卫星地图相结合的方法, 共设置了 7 个采样点, 基本包含了车尔臣河的上、中、下游(图 1)。

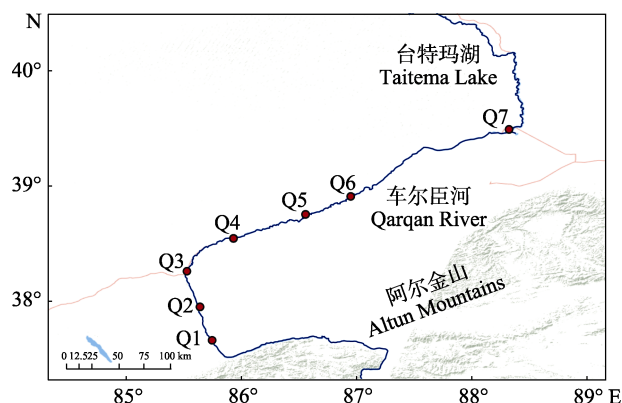


图 1 车尔臣河水域调查站位分布图

Fig. 1 Distribution map of investigation stations in the Qarqan River

1.2 调查方法

调查所使用的网具为地笼(长: 5 m、10 m、15 m 网眼均为 4 mm)、刺网(网眼: 1 cm、2 cm、3 cm)和抬网(长: 8 m 高: 1.5 m 网眼: 2 cm)。地笼和刺网均布设在岸边及回水湾处, 而抬网由 2~3 人操作, 垂直水流方向展开网具, 顺水流方向快速前行, 围捕顶水鱼类。现场解剖测量叶尔羌高原鳅的标准体长(standard length)、全长(total length)、体重(weight)、性腺重(gonad weight)、内脏重(visceral weight)和空壳重(net weight)等基础生物学数据, 长度精确到 0.01 cm, 重量精确到 0.01 g。

参考陈生熬等^[12]和曾霖等^[17]对叶尔羌高原鳅性腺发育方面的研究, 以及其他种类高原鳅繁殖生物学的分期方法^[19-24], 并结合性腺样品的色泽、大小、饱满度等对叶尔羌高原鳅性腺进行分期。将发育至 IV 期的卵巢样品, 前、中、后分别取 1 g, 用 10% 的甲醛溶液固定保存, 带回实验室清点卵黄沉积卵数量。取微耳石和鳃盖骨作为年龄鉴定材料。

1.3 数据分析

1.3.1 性比 叶尔羌高原鳅按 30 mm 体长间隔分组, 统计每个体长组雌雄个体比例, 并采用卡方检验判断雌雄比例是否符合 1:1。

1.3.2 初次性成熟大小 初次性成熟大小为群体中 50% 个体达到性成熟时的大小, 采用 SL_{50} 方法评估初次性成熟体长^[21]。将在繁殖季节采集到的雌雄叶尔羌高原鳅体长以 10 mm 为组距分组, 计算每个区间内性成熟个体比例, 即性腺达到 IV 期个体的比例。然后, 通过 Logistic 方程拟合各体长组的成熟比例和体长区间中值, 公式如下:

$$P = 1 / [1 + e^{-k(SL_{mid} - SL_{50})}] \quad (1)$$

式中, P 为各体长组性成熟比例; SL_{mid} 为体长区间中值; SL_{50} 为初次性成熟体长; k 为斜率。

计算各个年龄组内性成熟个体比例, 通过 Logistic 方程拟合各年龄组成熟比例和年龄, 公式如下:

$$P = 1 / [1 + e^{-k(A - A_{50})}] \quad (2)$$

式中, P 为各体长组性成熟比例; A 为年龄; A_{50} 为初次性成熟年龄; k 为斜率。

1.3.3 繁殖期 繁殖期根据达到性成熟或成熟过的叶尔羌高原鳅个体性腺成熟指数(gonadosomatic index, GSI)和性腺发育情况的月变化来确定。成熟系数公式如下:

$$GSI = W_G / W_N \times 100\% \quad (3)$$

式中, GSI 为性腺成熟指数; W_G 为性腺重; W_N 为空壳重。

1.3.4 产卵类型 产卵类型根据繁殖期间性成熟个体性腺成熟指数(GSI)和卵径频率分布来综合判断^[22]。随机选取不同月份的成熟叶尔羌高原鳅卵巢样本, 从卵巢前、中、后各取一定量样本, 小

心将卵粒分开,置于解剖镜下拍照,然后用 Lightools 软件测量卵粒直径,按月份作卵径频率分布图。

1.3.5 繁殖力 繁殖力采用重量分析法来计算。随机选取 30 尾卵巢发育到 IV 期的叶尔羌高原鳅样本,称取卵巢的重量,然后在卵巢前、中、后部分共选取 1 g,用 10% 的甲醛溶液固定保存,带回实验室置于解剖镜下统计所有卵黄沉积(III~IV 时相)的卵母细胞数量。

$$F = n \times W_G \quad (4)$$

$$F_{SL} = F / SL \quad (5)$$

$$F_W = F / W \quad (6)$$

式中, F 为绝对繁殖力; n 为 1 g 样品卵母细胞数量; W_G 为性腺重; F_{SL} 为体长相对繁殖力; F_W 为体重相对繁殖力; SL 为体长; W 为体重。

1.3.6 数据处理 采用 Excel 2019、SPSS 24.0、Origin 2017 进行数据处理,采用 ArcGIS 10.6、GoogleEarth Pro、Lightools 进行图片处理。采用 χ^2 检验来判断雌雄性比是否符合 1:1。繁殖力与各生物学指标的关系,采用线性函数、指数函数、幂函数、逻辑函数方程拟合,以相关系数 R^2 最大者为拟合方程。统计显著性标准设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 叶尔羌高原鳅群体特征

2.1.1 体长体重分布 2019—2021 年在车尔臣河采集到叶尔羌高原鳅共 815 尾,解剖了 544 尾,其中雌性 238 尾,雄性 222 尾,性别未辨 84 尾。雌性体长范围为 39.00~295.00 mm,平均体长为

(170.04±48.60) mm,以体长在 120~210 mm 范围的个体最多,占总数的 29.78%;体重范围为 0.87~284.08 g,平均体重为(71.12±58.81) g,优势体重范围为 0~90 g,占总数的 32.17%。雄性体长范围为 62.00~290.00 mm,平均体长为(175.29±40.61) mm,优势体长范围为 120~210 mm,占总数的 29.96%;体重范围为 2.77~271.60 g,平均体重为(74.06±49.89) g,优势体重范围为 0~120 g,占总数的 33.82%。性别未辨体长范围为 22.50~215.00 mm,平均体长为(112.53±48.42) mm,优势体长范围为 30~120 mm,占总数的 11.40%;体重范围为 0.14~107.90 g,平均体重为(26.41±26.10) g,优势体重范围为 0~60 g,占总数的 15.07% (图 2)。

2.1.2 繁殖群体组成 据繁殖季节(3—8 月)采样统计结果,繁殖群体共 212 尾,雌性个体 114 尾,雄性个体 98 尾,雌雄性比为 1.16:1,与 1:1 无显著差异($\chi^2=1.208$, $P>0.05$),雌性略多于雄性。雌性补充群体以 2~3 龄为主,占总个体数的 23.58%,雄性补充群体以 2~4 龄为主,占总个体数的 29.72%;雌性剩余群体占总数的 30.19%,雄性剩余群体占总数的 16.51% (图 3)。由于叶尔羌高原鳅的产卵群体(P)由补充群体(K)和剩余群体(D)组成,并且补充群体数量略大于剩余群体,认为叶尔羌高原鳅繁殖群体属于第二类型($P=K+D$, $K>D$)。

2.1.3 性别比例 544 尾叶尔羌高原鳅解剖样本,性别未辨个体 84 尾,性别可辨个体中雌性 238 尾,雄性 222 尾,叶尔羌高原鳅群体的雌雄性比为 1.07:1,卡方检验显示,与 1:1 无显著差异

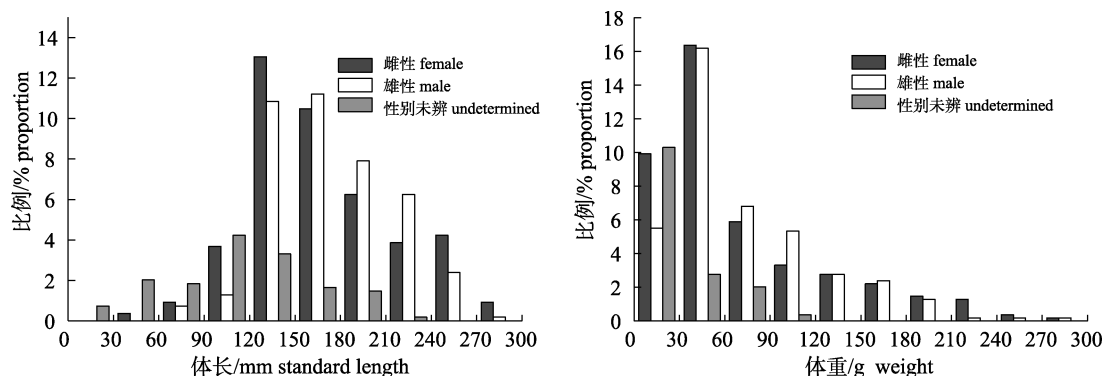


图 2 叶尔羌高原鳅体长体重频数分布图

Fig. 2 Frequency distribution of standard length and body weight of *Triplophysa yarkandensis*

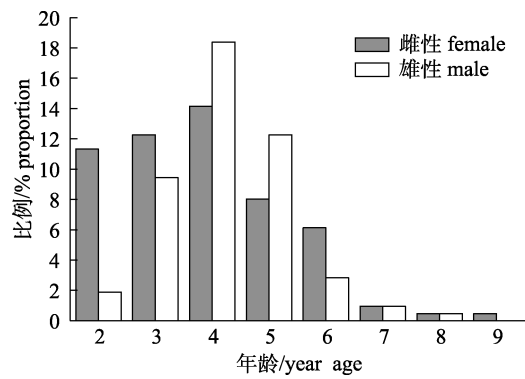


图 3 叶尔羌高原鳅繁殖群体年龄结构分布图
Fig. 3 Age structure distribution of breeding population of *Triplophysa yarkandensis*

($\chi^2=0.557$, $P>0.05$)。体长 120 mm 以下存在大量性

别未辨个体, 体长组 90~120 mm 雌雄性与 1 : 1 存在显著差异($\chi^2=6.259$, $P<0.05$), 其余体长组雌雄性与 1 : 1 均无显著差异($P>0.05$), 且群体性比随体长变化而变化, 整体雌雄比例呈现先降后升的趋势(表 1)。

2.2 初次性成熟大小

利用 Origin2017 软件分析叶尔羌高原鳅体长年龄和性成熟比例关系, 用 Logistic 方程拟合各体长组年龄组区间性成熟百分比求得方程(图 4、5):

雌性体长: $P=1/(1+e^{-0.7307(SL_{mid}-12.32)})$, $R^2=0.9928$
雄性体长: $P=1/(1+e^{-0.9457(SL_{mid}-9.09)})$, $R^2=0.9925$
雌性年龄: $P=1/(1+e^{-1.3658(A-3.16)})$, $R^2=0.9852$
雄性年龄: $P=1/(1+e^{-1.3148(A-2.95)})$, $R^2=0.9879$

表 1 叶尔羌高原鳅各体长组性别比例
Tab. 1 Sex ratio of each standard length group of *Triplophysa yarkandensis*

体长/mm standard length	样本量 number			性比 sex ratio	χ^2	P
	雌性 female	雄性 male	性别未辨 unknow sex			
0-30	0	0	4			
30-60	2	0	11			
60-90	5	4	10	1.25 : 1	0.111	>0.05
90-120	20	7	23	2.86 : 1	6.259	<0.05
120-150	71	59	18	1.20 : 1	1.108	>0.05
150-180	57	61	9	0.93 : 1	0.136	>0.05
180-210	34	43	8	0.79 : 1	1.052	>0.05
210-240	21	34	1	0.61 : 1	1.400	>0.05
240-270	23	13	0	1.76 : 1	2.778	>0.05
270-300	5	1	0	5.00 : 1	2.667	>0.05
总计 total	238	222	84	1.07 : 1	0.557	>0.05

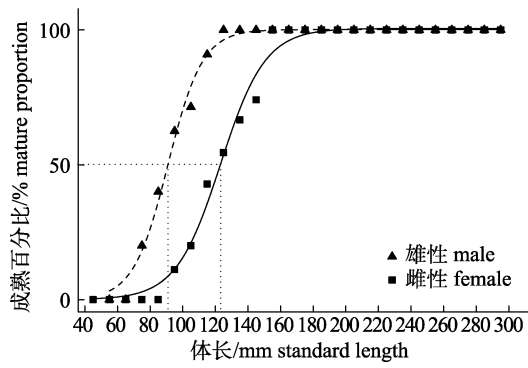


图 4 叶尔羌高原鳅各体长段性成熟 Logistics 曲线
Fig. 4 Sexual maturity logistic curve interval of each standard length of *Triplophysa yarkandensis*

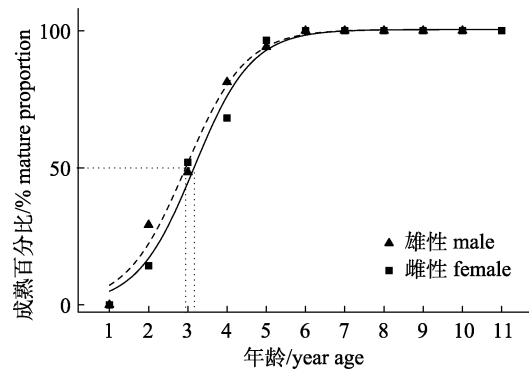


图 5 叶尔羌高原鳅各年龄组性成熟 Logistics 曲线
Fig. 5 Sexual maturity logistic curve of each age of *Triplophysa yarkandensis*

得到雌性初次性成熟体长(SL_{50})和初次性成熟年龄(A_{50})分别为123.2 mm和3.16龄, 雄性初次性成熟体长和初次性成熟年龄分别为90.9 mm和2.95龄。最小观测雌性性成熟体长为111.0 mm, 最小观测雄性性成熟体长为79.0 mm, 最小观测雌性性成熟年龄均为2龄, 与初次性成熟体长年龄相近。初次性成熟体长雄性明显小于雌性, 雄性性成熟早于雌性。

2.3 繁殖期

根据叶尔羌高原鳅不同月份卵巢发育期比例变化, 发现各个月份均有III期和IV期卵巢存在, 其中5、6月比例最高, 分别为61.32%和82.11%; IV期卵巢在4、5月比例最高, 分别为45.72%和47.53%; V期卵巢在5月比例最高, 为22.36%(图6)。IV期卵巢比例在10月开始下降, 并且V期卵巢消失, 到11月卵巢几乎全部退化, II期卵巢占据绝大多数。结合叶尔羌高原鳅成熟系数月变化情况(图7), 可以看出, 叶尔羌高原鳅雌性成熟系数在4、5月最高, 最大均值为 $(6.94 \pm 3.47)\%$, 8月开始下降, 10月达到最低, 11月有小幅上升, 最小均值为 $(1.06 \pm 0.71)\%$; 雄鱼成熟系数整体较为平缓, 最大均值为 $(0.66 \pm 0.36)\%$ 。据此推断叶尔羌高原鳅繁殖期可能在3—8月, 繁殖盛期在4—6月。

2.4 产卵类型

对采集到的车尔臣河叶尔羌高原鳅4、5、6、8和11月样本的III和IV期卵巢的卵粒进行了直

径测量, 结果发现, 卵径范围为100~660 μm 。各月的卵径几乎均以400 μm 为分界呈双峰分布(图8)。

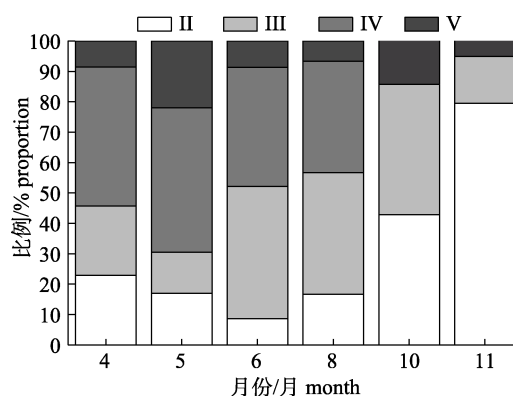


图6 叶尔羌高原鳅不同月份卵巢发育期比例
Fig. 6 Proportion of ovarian maturation in different months of *Triplophysa yarkandensis*

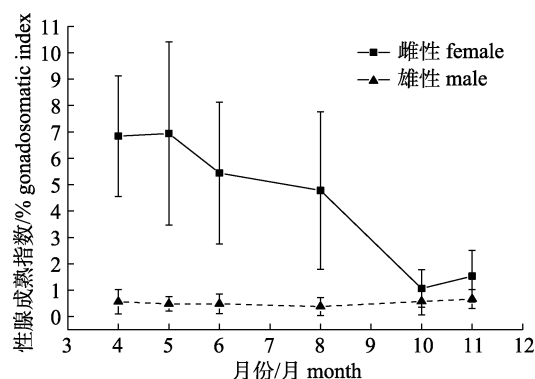


图7 叶尔羌高原鳅性腺成熟指数月变化
Fig. 7 Monthly variation of gonadosomatic index of *Triplophysa yarkandensis*

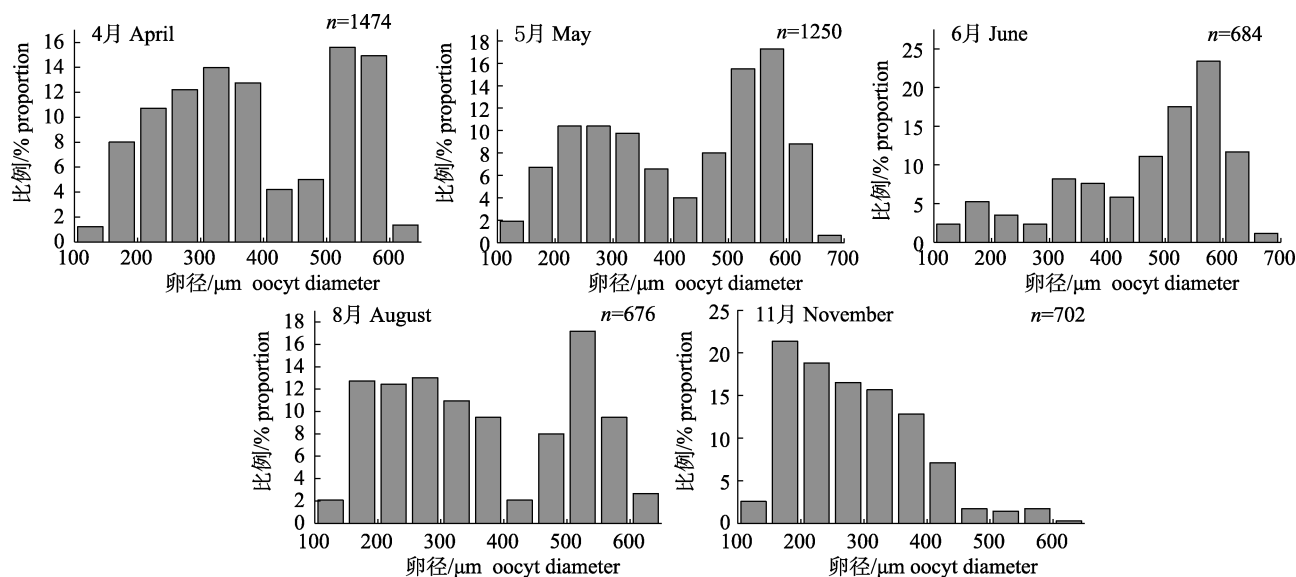


图8 叶尔羌高原鳅卵径频率分布图

Fig. 8 Oocyte diameter distribution of *Triplophysa yarkandensis*

4—11 月卵粒直径大于 400 μm 的数量呈先升后降的趋势, 其中 6 月最高, 达到总数的 70.76%, 4 月、5 月和 8 月也均在 50% 左右, 11 月整体卵径明显变小, 大于 400 μm 的仅占 12.25% (图 9)。结合性成熟系数平缓的变化趋势以及较长的繁殖季节, 推测叶尔羌高原鳅可能为连续分批产卵类型。

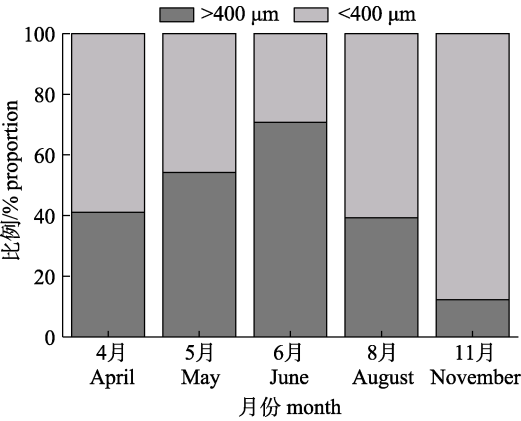


图 9 叶尔羌高原鳅卵径(>400 μm)比例分布图
Fig. 9 Oocyt diameter (>400 μm) proportion distribution of *Triplophysa yarkandensis*

2.5 繁殖力

随机取样的 30 尾性腺发育处于 IV 期的叶尔羌高原鳅卵巢样本, 体长分布范围为 133~282 mm, 体重分布范围为 31.13~281.44 g, 成熟系数(GSI)为 3.67%~19.13%, 平均(7.66 $\pm$ 3.43)%, 性腺重为 1.40~20.45 g, 平均(6.59 $\pm$ 5.00) g。绝对繁殖力 F 为 15608~187695 粒/尾, 平均为(61407 $\pm$ 46143)粒; 相对繁殖力 F_W 为 361.95~1852.16 粒/g, 平均(743.87 $\pm$ 321.78)粒/g, 相对繁殖力 F_{SL} 为 1114.86~6794.22 粒/cm, 平均(2852.87 $\pm$ 1593.25)粒/cm。

对叶尔羌高原鳅性腺各项指标进行相关性分

析(表 2), 并且用函数拟合绝对繁殖力(F)与体长(SL)、体重(W)、性腺重(W_G)和成熟系数(GSI)生物学指标的关系, 得到其回归方程(图 10):

$$F=0.0213SL^{2.789}$$
$$F=534.79W+4596.63$$
$$F=10430.93W_G-2611.67$$
$$F=26057.39GSI^{0.43}$$

$(n=30, R^2=0.7086)$

$(n=30, R^2=0.7185)$

$(n=30, R^2=0.9516)$

$(n=30, R^2=0.0583)$

3 讨论

3.1 初次性成熟大小

鱼类初次性成熟大小是种群繁殖潜力的决定因素^[25], 受到内部遗传基因和外在环境因素共同影响, 具有稳定性和波动性^[26-27]。叶尔羌高原鳅初次性成熟大小因在塔里木河流域不同河段及不同支流受到不同环境的影响而有所波动, 又受到遗传基因的作用而趋于相对稳定。车尔臣河叶尔羌高原鳅初次性成熟年龄和体长雌性为 3.16 龄, 123.2 mm; 雄性为 2.95 龄, 90.9 mm。车尔臣河群体初次性成熟年龄与克孜河群体(雌性: 2 龄, 雄性: 2 龄)^[17]和塔里木河阿拉尔段群体(雌性: 3 龄, 雄性: 2 龄)^[12]无显著差异($P>0.05$), 而初次性成熟体长明显大于克孜河群体(雌性: 62.0 mm, 雄性: 46.0 mm)^[17]、阿克苏河群体(雌性: 66.0 mm)^[15]、塔里木河干流群体(雌性: 56.0 mm, 雄性: 52.0 mm)^[11]、塔里木河阿拉尔段群体(雌性: 82.0 mm, 雄性: 65.0 mm)^[12]和康拉克湖群体(雌性: 40.5mm)^[18]。这可能是由于环境因素的不同使叶尔羌高原鳅初次性成熟体长出现差异。车尔臣河生物多样性相对于其他流域较低, 调查发现车尔臣河干流中只有 3 种土著种鱼类(叶尔羌高原鳅、隆额高原鳅和

表 2 叶尔羌高原鳅性腺各指标间的相关性分析
Tab. 2 Correlation analysis of gonadal indexes of *Triplophysa yarkandensis*

指标	体长 SL	体重 W	性腺重 W_G	性腺成熟指数 GSI	绝对繁殖力 F	体重相对繁殖力 F_W
体重 W	0.955**					
性腺重 W_G	0.787**	0.802**				
性腺成熟指数 GSI	0.097	0.109	0.409*			
绝对繁殖力 F	0.740**	0.759**	0.976**	0.402*		
体重相对繁殖力 F_W	0.003	0.019	0.503**	0.946**	0.550**	
体长相对繁殖力 F_{SL}	0.626**	0.639**	0.948**	0.557**	0.980**	0.696**

注: *表示数据显著相关($P<0.05$); **表示数据极显著相关($P<0.01$).
Note: * indicates significant correlation between the two set of data ($P<0.05$); ** indicates extremely significant correlation between the two set of data ($P<0.01$).

塔里木裂腹鱼), 外来种也仅主要分布在与干流相通的芦苇场及其他小河沟中。在车尔臣河水域中, 叶尔羌高原鳅生物量占据了绝对优势地位, 由于其

为杂食性鱼类, 生态位较宽, 占据了河流中主要食物资源, 使叶尔羌高原鳅生长速度快于其他水域, 进而初次性成熟体长远大于其他流域群体(表 3)。

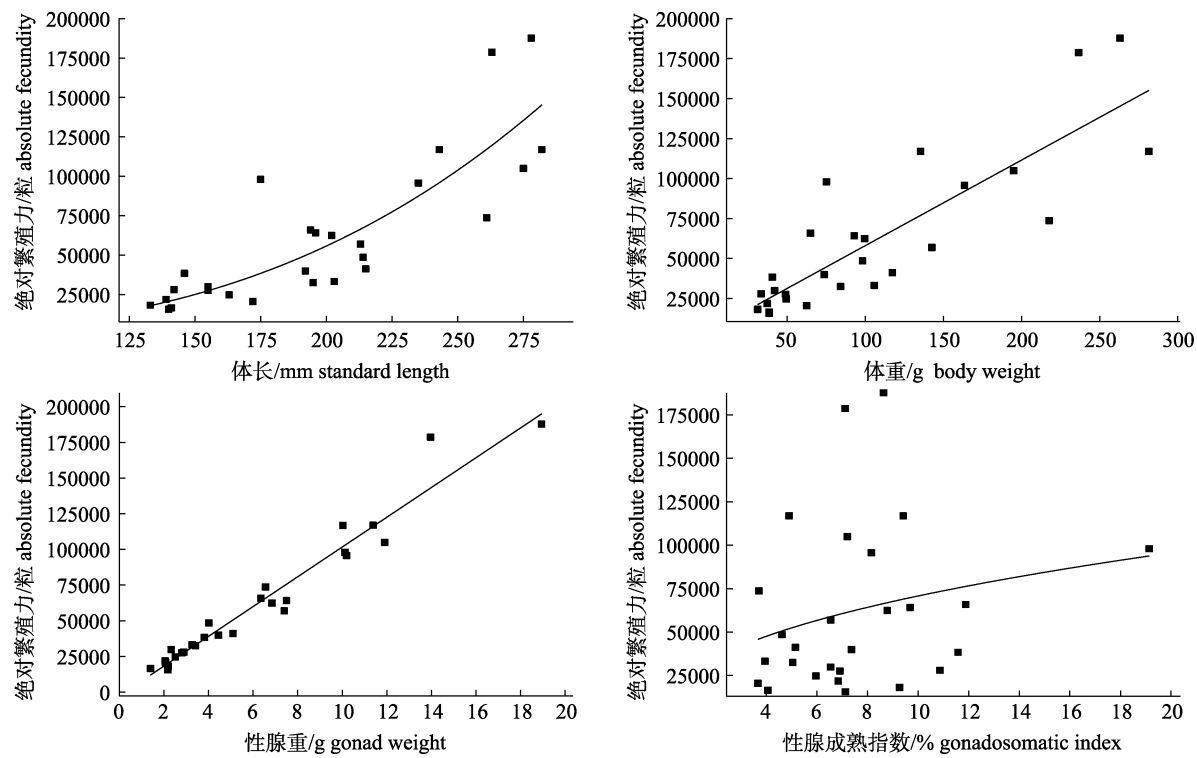


图 10 叶尔羌高原鳅绝对繁殖力与体长、体重、性腺重和性腺成熟指数的关系
Fig. 10 The relationships between standard length, weight, gonad weight, gonadosomatic index and absolute fecundity of *Triplophysa yarkandensis*

表 3 不同水域叶尔羌高原鳅生长指标比较
Tab. 3 Comparison of growth indexes of *Triplophysa yarkandensis* in different waters

	塔里木河 Tarim River	最大体长/mm maximum length	最大体重/g maximum weight	平均体长/mm average length	平均体重/g average weight	初次性成熟体长/mm SL ₅₀		绝对繁殖力 F	体重相对繁殖力 F _w
						雌性 female	雄性 male		
干流 trunk stream	干流全线 Trunk ^[11]	76.0	9.4	/	/	56.0	52.0	6125	1160
	阿拉尔段 Alar ^[12]	195.0	114.0	106.6	/	82.0	65.0	9944	982
	沙雅段 Shaya ^[13]	138.0	38.2	/	/	/	/	/	/
支流 tributary	克孜河 Kezi ^[17]	204.0	140.0	93.9	16.55	62.0	46.0	28716	2310
	和田河 Hotan ^[14]	179.7	50.1	78.8	8.72	/	/	/	/
	叶尔羌河 Yarkand ^[14]	142.1	35.7	86.8	12.56	/	/	/	/
	阿克苏河 Aksu ^[15]	150.0	33.0	87.3	/	66.0	/	11543	1037
	渭干河 Weigan ^[16]	162.0	55.1	123.8	28.73	/	/	/	/
	康拉克湖 Conrad ^[18]	113.0	33.9	67.3	5.14	40.5	/	/	/
	车尔臣河 Qarqan	290.0	271.6	160.26	62.09	123.2	90.9	61407	743

注: “/”为无数据。
Note: “/” represents no data.

3.2 产卵类型和繁殖策略

鱼类繁殖期是了解鱼类生活史的关键, 繁殖期的长短往往与鱼类的产卵类型相关, 是评估种群发展潜力的重要依据^[28]。有学者认为温度、仔鱼开口饵料等是鱼类繁殖时间最重要的环境因子^[29-30], 还有学者提出当地水体的涨水期往往与鱼类繁殖期一致^[31], 而各种不同的环境因子通常是同时或交替并连续影响鱼类性腺发育的^[32]。车尔臣河叶尔羌高原鳅繁殖期在3—8月, 繁殖盛期在4—6月, 可能由于车尔臣河从源头到最后汇入台特玛湖纬度跨度大, 海拔落差较大。并且从3月下旬开始, 车尔臣河下游温度便开始升高, 高温慢慢由下游向上游蔓延, 这也与车尔臣河尾间湖泊康拉克湖叶尔羌高原鳅群体繁殖期(4—8月)相符合^[18]。从3月开始, 车尔臣河也迎来了为期5—6个月的涨水期^[2,33], 洪流刺激叶尔羌高原鳅进行繁殖活动, 且可以扩大繁殖栖息地、增加可利用饵料, 有助于仔稚鱼发育^[27]。

叶尔羌高原鳅繁殖期较长, 这可能除了与车尔臣河特殊环境相关, 还可能与其产卵类型有关。通过对叶尔羌高原鳅的卵径进行测量分析, 频率图显示为双峰, 判断其为分批产卵类型。这与其他多种高原鳅属鱼类(贝氏高原鳅^[20]、秀丽高原鳅^[34]、东方高原鳅^[35]等)产卵类型相符, 并且也与陈生熬等^[36]人工饲养的叶尔羌高原鳅产卵类型相符。车尔臣河叶尔羌高原鳅通过分批产卵, 可以降低仔稚鱼对食物、空间等资源的竞争, 保证即使在不利条件下损失一部分鱼卵或幼鱼, 群体发展仍不受影响。但是克孜河和塔里木河阿拉尔段的叶尔羌高原鳅群体却报道为不分批产卵类型^[12,17], 与本研究结果不符, 这有待进一步的研究。

繁殖力体现了物种或种群对环境变动的适应性特征, 是探究鱼类种群补充过程的重要组成部分^[33,37]。研究发现, 种群密度、饵料丰度、水文节律等环境因子均会导致鱼类繁殖力发生变动^[38-39]。叶尔羌高原鳅性腺成熟指数与性腺重呈显著相关($P<0.05$), 而与体长、体重无显著相关($P>0.05$), 说明叶尔羌高原鳅成熟系数与性腺发育密切相关, 而与个体本身的发育相关性不强。

绝对繁殖力与成熟系数显著相关($P<0.05$), 与体长、体重和性腺重呈极显著相关($P<0.01$), 表明叶尔羌高原鳅绝对繁殖力随个体体长体重的增加而增加, 与营养条件也存在关系, 与中华花鳅、广东鲂等研究结果基本一致^[40-41]。车尔臣河叶尔羌高原鳅平均绝对繁殖力为 61407 粒, 平均相对繁殖力为 743 粒/g, 与塔里木河其他水域相比绝对繁殖力较高, 而相对繁殖力较低(表 3), 意味着车尔臣河叶尔羌高原鳅群体拥有较高的繁殖潜力, 鱼卵数量多, 体积大, 卵黄积累多, 有更多的营养供仔鱼利用, 使每个卵存活下来的机会更大^[33,42], 这可能也是车尔臣河叶尔羌高原鳅种群更加壮大的原因之一, 是车尔臣河群体延续种群的繁殖策略。

参考文献:

- [1] Da W, Wang S F, Shen Y P, et al. Hydrological response to the climatic changes in the Qarqan River Basin at the northern slope of Kunlun Mountains during 1957—2019[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2022, 44(1): 46-55. [达伟, 王书峰, 沈永平, 等. 1957—2019 年昆仑山北麓车尔臣河流域水文情势及其对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 2022, 44(1): 46-55.]
- [2] Ablekim A, Kasimu A, Kurban A, et al. Monitoring the water area changes in Tetima-Kanglayka lakes region over the past four decades by remotely sensed data[J]. Journal of Lake Sciences, 2014, 26(1): 46-54. [阿布都米吉提·阿布力克木, 阿里木江·卡斯木, 艾里西尔·库尔班, 等. 近 40 年台特玛-康拉克湖泊群水域变化遥感监测[J]. 湖泊科学, 2014, 26(1): 46-54.]
- [3] Ma Y W, Guo Y, Zhang R M, et al. Fauna composition and distribution of aboriginal fish in the Tarim River of Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(6): 949-956. [马燕武, 郭焱, 张人铭, 等. 新疆塔里木河水系土著鱼类区系组成与分布[J]. 水产学报, 2009, 33(6): 949-956.]
- [4] Ren M L, Ren B, Yang Z L, et al. Investigations on the resources and ecology of talimv big head mountain carp [*Aspiorhynchus laticeps* (Day)], a nearly extinct species in Xinjiang, and its possible protective measure[J]. Chinese Journal of Fisheries, 1996, 9(2): 1-19. [任慕莲, 任波, 杨植林, 等. 濒危物种——新疆大头鱼的生态和资源调查与保护对策的研究[J]. 水产学杂志, 1996, 9(2): 1-19.]
- [5] Wang Z C, Jiang Z F, Zhang C Z, et al. Checklist literature study and compilation of bracketed keys for indigenous

- fishes Tarim River Basin[J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(1): 15-18. [王智超, 姜作发, 张长征, 等. 塔里木河流域土著鱼类名录文献考订及检索表的编制[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(1): 15-18.]
- [6] Zhang R M, Guo Y, Ma Y W, et al. A survey on the resource and distribution of *Schizothorax biddulphi* Günther[J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(6): 76-78. [张人铭, 郭焱, 马燕武, 等. 塔里木裂腹鱼资源与分布的调查研究[J]. 淡水渔业, 2007, 37(6): 76-78.]
- [7] Guo Y. Ichthyology of Xinjiang[M]. Xinjiang: Xinjiang Science and Technology Press, 2012: 166-167. [郭焱. 新疆鱼类志[M]. 新疆: 新疆科学技术出版社, 2012: 166-167.]
- [8] Bain M B. The conservation status of large migratory cyprinids including *Aspiorhynchus laticeps* of Xinjiang China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2011, 27: 80-85.
- [9] Huo T B, Jiang Z F, Karjan A, et al. Length-weight relationships of 16 fish species from the Tarim River, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2012, 28(1): 152-153.
- [10] Guo Y, Xie C G, Luo G, et al. Present situation and protection of aquatic germplasm resources in Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. China Fisheries, 2021(3): 67-71. [郭焱, 谢春刚, 罗刚, 等. 新疆维吾尔自治区水产种质资源现状与保护[J]. 中国水产, 2021(3): 67-71.]
- [11] Karjan A, Huo T B, Jiang Z F, et al. Study on Biological Characters of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) from the Main Stream of Tarim River[J]. Journal of Hydroecology, 2011, 32(1): 34-39. [阿达可白克·可尔江, 霍堂斌, 姜作发, 等. 塔里木河干流叶尔羌高原鳅种群生物学研究[J]. 水生生态学杂志, 2011, 32(1): 34-39.]
- [12] Chen S A, Ma C H, Ding H P, et al. The Reproductive Biology of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) in Tarim River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(5): 810-816. [陈生熬, 马春晖, 丁慧萍, 等. 塔里木河叶尔羌高原鳅繁殖生物学研究[J]. 水生生物学报, 2013, 37(5): 810-816.]
- [13] Chen S A, Xie C X, Song Y, et al. Morphological Biology of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) in Shaya Section of Tarim River[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(08): 1499-1504. [陈生熬, 谢从新, 宋勇, 等. 塔里木河沙雅段叶尔羌高原鳅形态生物学研究[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(08): 1499-1504.]
- [14] Wang X Y, Zhang Y J, Liu F, et al. Analysis on the morphological differences of *Triplophysa yarkandensis* in different geographic populations[J]. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(6): 199-206. [王新月, 张永杰, 刘斐, 等. 叶尔羌高原鳅不同地理群体形态差异分析[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(6): 199-206.]
- [15] Ren B, Ma Y W, Turson, et al. The Study on the biology of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) in Akesu River[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2004, (1): 46-52. [任波, 马燕武, 吐尔逊, 等. 阿克苏河叶尔羌高原鳅 *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) 生物学研究[J]. 水产学杂志, 2004, (1): 46-52.]
- [16] Han J J, Chen P, Qi F, et al. Situations of fish stocks in Weigan River in Xinjiang[J]. Fisheries Science, 2022, 41(1): 92-101. [韩军军, 陈朋, 祁峰, 等. 新疆渭干河流域鱼类资源现状[J]. 水产科学, 2022, 41(1): 92-101.]
- [17] Zeng L, Tang W Q. Age, body growth and reproductive characteristics of *Triplophysa yarkandensis*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2010, 45(5): 29-38. [曾霖, 唐文乔. 叶尔羌高原鳅的年龄、生长与繁殖特征[J]. 动物学杂志, 2010, 45(5): 29-38.]
- [18] Jiang R J, Lei M H, Xiong J. Observation on the reproductive characteristic of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) in kanglakes[J]. Journal of Aquaculture, 2011, 32(7): 30-34. [姜仁军, 雷曼红, 熊娟. 康拉克湖区叶尔羌高原鳅繁殖特性的初步研究[J]. 水产养殖, 2011, 32(7): 30-34.]
- [19] Xie J Y, Xia Y, Yan Y, et al. Reproductive cycle of *Triplophysa stenura* (herzenstein, 1888) (balitoridae: Nema-cheilinae) from the Yarlung Tsangpo River in the Tibetan Plateau, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2017, 33(1): 37-41.
- [20] Wang Z J, Huang J, Zhang Y G. The reproductive traits of *Triplophysa bleekeri* in the Daning River[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(5): 8-13. [王志坚, 黄静, 张耀光. 大宁河贝氏高原鳅的繁殖特性[J]. 淡水渔业, 2013, 43(5): 8-13.]
- [21] van der Velde T D, Griffiths S P, Fry G C. Reproductive biology of the commercially and recreationally important cobia *Rachycentron canadum* in northeastern Australia[J]. Fisheries Science, 2010, 76(1): 33-43.
- [22] Wang J W. Reproductive biology of *Gobiocypris rarus*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1992, 16(2): 165-174, 195. [王剑伟. 稀有鮡鲫的繁殖生物学[J]. 水生生物学报, 1992, 16(2): 165-174, 195.]
- [23] Jobling M, Reinsnes T G. Physiological and social constraints on growth of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L.: An investigation of factors leading to stunting[J]. Journal of Fish Biology, 1986, 28(3): 379-384.
- [24] Liu Q G, Shen J Z, Chen M K, et al. Advances of the study on the miniaturization of natural economical fish resources[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(1):

- 79-83. [刘其根, 沈建忠, 陈马康, 等. 天然经济鱼类小型化问题的研究进展[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(1): 79-83.]
- [25] Vieira A R, Sequeira V, Neves A, et al. Reproductive strategy of forkbeard, *Phycis phycis*, from the Portuguese coast[J]. *Helgoland Marine Research*, 2016, 70(1): 1-15.
- [26] Yu W J. Age, growth, mortality and reproduction of *Hemiculter bleekeri* in He-Wang-Miao oxbow[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017. [余文娟. 长江何王庙故道贝氏鲮的年龄、生长、死亡率和繁殖生物学[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.]
- [27] Sinovčić G, Keč V Č, Zorica B. Population structure, size at maturity and condition of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb., 1792), in the nursery ground of the eastern Adriatic Sea (Krka River Estuary, Croatia)[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 76(4): 739-744.
- [28] Suárez Y R, Silva E A, Viana L F. Reproductive biology of *Astyanax lacustris* (Characiformes: Characidae) in the southern Pantanal floodplain, upper Paraguay River Basin, Brazil[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2017, 100(7): 775-783.
- [29] Yin M C. Advances and studies on early life history of fish[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1991, 15(4): 348-358. [殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展[J]. 水产学报, 1991, 15(4): 348-358.]
- [30] Yin M C. Fish Ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [31] Humphries P, King A J, Koehn J D. Fish, flows and flood Plains: Links between freshwater fishes and their environment in the murray-darling river system, Australia[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1999, 56(1-2): 129-151.
- [32] Xie C X. Ichthyology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010. [谢从新. 鱼类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.]
- [33] Wang Z D. Analysis of surface water runoff change and hydrochemical change in Cherchen River[J]. *Ground Water*, 2016, 38(5): 122, 136. [王志丹. 车尔臣河地表水径流变化与水化学变化分析[J]. 地下水, 2016, 38(5): 122, 136.]
- [34] Liang X, Leng Y, Li G H, et al. Study on reproductive biology of loach in plateau beauty[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(20): 187-189. [梁祥, 冷云, 李光华, 等. 秀丽高原鳅繁殖生物学研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(20): 187-189.]
- [35] Wang F. Study on the reproductive biology and artificial propagation of *Triplophysa orientalis* (herzenstein)[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017. [汪帆. 东方高原鳅繁殖生物学以及人工繁殖的相关研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.]
- [36] Chen S A, Wang Z C, Song Y, et al. Ecological research about *Triplophysa* (*Hedinichthys*) *yarkandensis* (Day) in Tarim River[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2010, 41(04): 90-93. [陈生熬, 王智超, 宋勇, 等. 塔里木河流域叶尔羌高原鳅的生物学研究[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(04): 90-93.]
- [37] Hossain M Y, Rahman M M, Miranda R, et al. Size at first sexual maturity, fecundity, length-weight and length-length relationships of *Puntius sophore* (Cyprinidae) in Bangladeshi waters[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2012, 28(5): 818-822.
- [38] Kennedy J, Nash R D M, Slotte A, et al. The role of fecundity regulation and abortive maturation in the reproductive strategy of Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus*)[J]. *Marine Biology*, 2011, 158(6): 1287-1299.
- [39] Li P L, Wang J L, Lu W Q, et al. Individual fecundity of *Protosalanx chinensis* in Xingkai Lake[J]. *Wetland Science*, 2020, 18(5): 525-531. [李培伦, 王继隆, 鲁万桥, 等. 兴凯湖大银鱼个体繁殖力研究[J]. 湿地科学, 2020, 18(5): 525-531.]
- [40] Zhou X J, Yang Y H, Dong F, et al. Reproductive biology of *Cobitis sinensis*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2021, 42(1): 123-128. [周贤君, 杨引欢, 董芳, 等. 中华花鳅的繁殖生物学特性研究[J]. 水生生态学杂志, 2021, 42(1): 123-128.]
- [41] Liu Y Q, Li X H, Li Y F, et al. Reproductive biology and strategy of *Megalobrama terminalis* of Xijiang River[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2021, 33(1): 232-241. [刘亚秋, 李新辉, 李跃飞, 等. 西江广东鲂(*Megalobrama terminalis*)繁殖生物学及繁殖策略[J]. 湖泊科学, 2021, 33(01): 232-241.]
- [42] Rogers R, Rowe S, Rideout R M, et al. Fecundity of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) off southern Newfoundland[J]. *Fisheries Research*, 2019, 220: 105339.

Reproductive strategy of *Triplophysa yarkandensis* in the Qarqan River, Xinjiang

ZHAO Jinfa, QIU Longhui, ZHOU Qiong, ZHOU Xiaoyun, SHEN Jianzhong

College of Fisheries, Huazhong Agricultural University; Engineering Research Center of Green Development for Conventional Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, ministry of Education, Wuhan, 430070, China

Abstract: The reproductive strategy of *Triplophysa yarkandensis* in the Qarqan River was investigated based on 544 samples collected from 2019 to 2021. The study analyzed the breeding population composition, breeding period, first maturity, spawning type, fecundity, and other characteristics. The results revealed that the breeding population of *Triplophysa yarkandensis* ranged from 2 to 9 years old, with a male–female ratio of 1.16 : 1, belonging to the second type ($P=K+D$, $K>D$). The observed body length and age at first sexual maturity were as follows: female, 111.0 mm, 2 years old; male, 79.0 mm, 2 years old. The first sexual maturity body length (SL_{50}) and age (A_{50}) were as follows: female, 123.2 mm and 3.16 years old; male, 90.9 mm and 2.95 years old. Based on the appearance time and proportion of different gonad development stages, gonad maturity coefficient, and egg diameter distribution, it is inferred that *Triplophysa yarkandensis* is a batch spawning type, and the breeding period is from March to August, with a peak breeding period from April to June. The average absolute fecundity was (61407 ± 46143) grains, and the average relative fecundity was (743.87 ± 321.78) grains/g. Compared with other water bodies, the *Triplophysa yarkandensis* population in the Qarqan River had a larger average body length, average body weight, and first sexual maturity body length; a higher absolute fecundity; and a lower relative fecundity. The distinctive reproductive strategy of the *Triplophysa yarkandensis* population in the Qarqan River can offer fundamental data support for the protection of its resources.

Key words: the Qarqan River; *Triplophysa yarkandensis*; reproductive strategy; first maturity; spawning type; fecundity

Corresponding author: SHEN Jianzhong. E-mail: jzhsh@mail.hzau.edu.cn