

doi: 10.7541/2021.2020.126

沙柳河青海湖裸鲤早期资源发生量及时空分布

谈龙飞¹ 徐东坡^{1,2} 祁洪芳³ 方弟安^{1,2} 丁隆强¹ 阿怀云³
李元冬² 吴艳红³ 毛成诚²

(1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 无锡 214081; 3. 青海省青海湖裸鲤繁育与保护重点实验室, 西宁 810016)

摘要: 为了掌握青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii*)资源补充状况, 于2019年5月26日至9月2日逐日在青海湖第二大支流沙柳河开展了青海湖裸鲤早期资源丰度时空变化特征的调查研究, 共采集青海湖裸鲤鱼卵3386粒, 仔鱼4690尾。调查发现, 亲鱼自5月底开始洄游, 鱼卵6月初出现, 6月底至7月初达到高峰, 随后逐渐下降, 至8月中旬基本消失。仔鱼数量自7月初呈波动式上升, 8月达到高峰, 9月初逐渐消失。经估算, 沙柳河鱼卵径流量为 25.58×10^6 粒, 仔鱼径流量为 62.00×10^6 尾。鱼卵仔鱼空间分布为从河口往上丰度依次递减, 断面水平分布为右岸>左岸>中心。Kruskal-Wallis检验表明, 昼夜鱼卵丰度存在显著差异($P < 0.05$); 昼夜仔鱼丰度存在极显著性差异($P < 0.01$), 鱼卵仔鱼漂流高峰期均集中在夜间。鱼卵丰度与流速呈显著正相关($P < 0.05$), 仔鱼丰度与流速呈极显著正相关($P < 0.01$), 与径流量日上涨率呈极显著正相关($P < 0.01$)。研究报道了沙柳河青海湖裸鲤早期资源现状, 填补了该水域青海湖裸鲤早期资源研究的空缺, 为青海湖裸鲤上溯亲本资源量和入湖幼鱼资源量估算提供了数据支撑, 可为青海湖裸鲤资源管理与保护提供科学依据。

关键词: 青海湖裸鲤; 早期资源; 资源量补充; 时空变化; 环境因子; 沙柳河

中图分类号: S932.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2022)02-0265-08



青海湖流域由青海湖主湖、附属的尕斯库勒湖和尕斯库勒海等小型湖泊, 及布哈河、沙柳河、哈尔盖河、泉吉河和黑马河等五大支流, 倒淌河和无名河等小型支流所构成。其中沙柳河是五大支流中的第二大支流, 属于青海湖水系的重要组成部分。受青藏高原气候影响, 整个流域一年之中有三分之二的时间处于冰封期^[1], 只有5—9月是解冻期, 也是该水域鱼类的繁殖季节。

青海湖裸鲤(*G. przewalskii*), 隶属于鲤形目(Cypriniformes), 鲤科(Cyprinidae), 裂腹鱼亚科(Schizothoracinae), 裸鲤属(*Gymnocypris*), 仅分布于青海湖及周边淡水支流, 是青海湖的特有种, 处于青海湖整个生态系统核心地位。解冻期, 青海湖裸鲤会溯河而上, 在淡水支流中繁殖产卵。青海湖裸鲤繁殖能力低, 又因生长在高寒、高盐和高碱的水体之中, 生长速度十分缓慢, 平均每条鱼10年仅增

长0.5 kg^[2]。由于早期的过度捕捞、产卵场的破坏和气候等因素的影响, 青海湖裸鲤资源严重衰退, 甚至面临枯竭^[3, 4], 于1979年被列为我国重要或名贵水生动物, 1994年被列入鱼类优先保护物种二级名录, 2004年被列为濒危物种^[5]。针对渔业资源严重衰退的情况, 青海省政府对青海湖实施了封湖育鱼措施^[6, 7], 经多年努力, 青海湖渔业资源逐步恢复^[8]。

近年来积极开展增殖放流工作及修复洄游通道后, 青海湖裸鲤资源逐步恢复, 但青海湖裸鲤尚未恢复至历史最高时期的资源量。加强天然产卵场和育幼场的保护或修复, 有望助力恢复青海湖裸鲤资源。如何系统评价增殖放流效果和洄游通道修复效果, 如何针对性开展产卵场和育幼场保护, 是制定持续有效的保护策略所要考虑的问题。解析青海湖裸鲤早期资源状况, 有助于解决上述问题。因此, 本研究基于对青海湖支流沙柳河青海湖

收稿日期: 2020-06-01; 修订日期: 2021-04-10

基金项目: 财政专项“西北地区重点水域渔业资源与环境调查”资助 [Supported by the Investigation on Fishery Resources and Environment of Key Waters in Northwest China by Finance Special Program of Ministry of Agriculture]

作者简介: 谈龙飞(1993—), 男, 硕士研究生; 研究方向为渔业资源。E-mail: Tanlf21@163.com

通信作者: 徐东坡, 男, 研究员; E-mail: xudp@ffrc.cn

裸鲤早期资源时空和昼夜分布的调查, 及环境因子对早期资源分布的影响, 初步了解沙柳河青海湖裸鲤早期资源动态, 积累早期资源数据, 以期为青海湖裸鲤早期资源发生量评估和产卵场定位等提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 调查时间与地点

研究表明, 青海湖裸鲤5月底开始洄游, 6—7月是洄游高峰期^[9, 10]。因此本实验于2019年5月26日至2019年9月2日在青海湖支流沙柳河开展早期资源调查, 累计调查100d。沙柳河因河道两岸遍布沙柳而得名, 长106 km, 宽度在50 m左右, 两岸多山, 地势起伏多变, 河道水流湍急, 是青海湖裸鲤洄游的主要河道之一。根据实地情况, 结合陈大庆^[11]及吴金明等^[12]早期资源的研究, 在沙柳河每相隔20 km设置一个采样断面, 共设置1号断面(N37°22'79.18"; E100°20'74.08")、2号断面(N37°31'41.46"; E100°13'52.40")、3号断面(N37°51'87.81"; E100°07'58.95")和4号断面(N37°70'62.92"; E100°03'87.84")四个采样断面(图1), 其中1、2和3号断面各设置左岸、中心和右岸3个采样点, 4号断面设置左岸和右岸2个采样点, 各采样点之间相距10 m左右, 左右两岸采样点与岸边相距5 m左右。

1.2 调查方法与数据获取

定量采集, 由于采样河流水深较浅, 不足1 m, 各河段深浅不一, 传统的圆口拖网并不适用。本实验在传统圆口拖网的基础上, 将其改良为可调节方口拖网, 网口为长0.80 m宽0.50 m的可调节方口, 可通过调节网口长度改变网口大小; 网身長2.0 m, 网目为0.25 mm的浮游生物网; 可调节方口拖网末端接圆柱形仔鱼收集装置(尾部可打开), 长20 cm直径

10 cm; 网口固定德国JKY/Hydrobios/438115数字网口水平流量计测仪。采样断面河水径流量数据来自青海湖裸鲤救护中心。

白天调查, 2号断面每天定量调查1次, 1、3和4号断面每周定量调查1次。根据河道宽度, 1、2和3号断面河道较宽, 每个断面设置3个采样点, 分别位于河道的右岸、中心和左岸, 由于4号断面河道较窄, 只设置左、右岸2个采样点; 由于河道较浅, 每个采样点基本都能采集水体的上、中和下层, 故不再做分层采样。在每个采样点用可调节方口拖网逆流固定收集10min, 同时记录每个采样点水温、pH、DO、透明度、水深、流速和水平流量计测仪转数, 及天气状况与采集时刻。夜间调查, 主要为2号断面的3个采样点, 方法与白天调查相同, 以作对比分析。定性调查, 时间为20:00至8:00, 由于种类较少, 定性调查频次不多。

采集样品, 分类计数后将实验用样一部分使用4%的福尔马林溶液固定, 10min后转75%的中性酒精保存, 在实验室用于形态鉴定; 一部分直接用75%中性酒精保存, 并通过分子生物学手段进行种类鉴定, 做进一步确证, 与高原鳅区分。剩余卵部分孵化后用于耳石研究, 其余卵全部放流回河道, 剩余仔鱼也全部放流回河道。鉴定工作在Nikon SMZ745T解剖镜下进行, 分子样由公司通过CO I (Cytochrome C oxidase Subunit I)测定, 将所测结果同已经用成鱼建立的青海湖裸鲤DNA数据库(本实验室测定的成鱼DNA数据)和NCBI库同时进行比对得到种类鉴定的结果, 并做系统进化树分析。

1.3 数据处理

鱼卵仔鱼的丰度计算参考易伯鲁等^[13]和曹文宣等^[14]的计算方法, 以每100 m³水体含有鱼卵仔鱼数量(ind.), 其计算公式为:

$$D_i = \frac{N_i}{Q_i \times t_i}$$

$$Q_i = (0.3 \times S \times C_i) / t_i$$

式中, D 为采集期间的过网鱼卵仔鱼的平均丰度(ind./m³), N_i 为第 i 次采集鱼卵仔鱼的数量(ind.), Q 为采集期间的过网水量(m³), S 为圆锥网的网口面积(m²), t_i 为第 i 次采集时间(s), C_i 为第 i 次采集时流量计的始末差值, 0.3为计算过网水量的公式系数。

断面系数计算:

$$C = \frac{\bar{d}}{d_i}$$

式中, C 为鱼卵仔鱼平均丰度相比系数, d_i 为固定采样点的鱼卵仔鱼丰度(ind./m³), $\bar{d}$ 为断面各采样点鱼

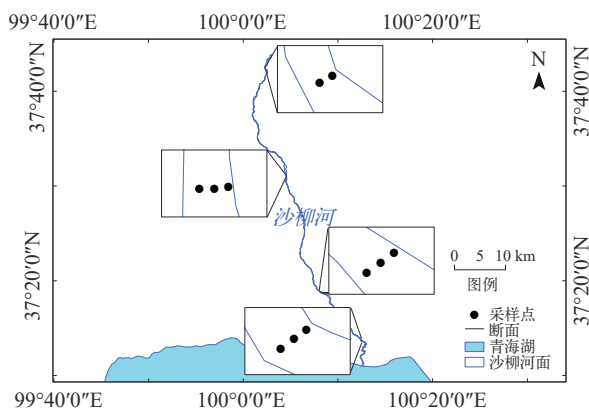


图1 青海湖沙柳河鱼类早期资源采样点设置

Fig. 1 Sampling stations of fish in early life history stages setting in Shaliu River, Qinghai Lake

卵仔鱼的平均丰度(ind./m³)。

采集期间鱼卵仔鱼径流量:

$$M_i = D_i \times Q_i \times C \times t_i$$

式中, M_i 为第*i*次采集时段内通过该河段断面的鱼卵仔鱼数(ind.), D_i 为第*i*次采集的鱼卵仔鱼丰度(ind./m³), Q_i 为第*i*次采集时的断面流量(m³/s), t_i 第*i*次采集所用的时间(s)。

非采集期间鱼卵仔鱼径流量:

$$M_{i,i+1} = (M_i/t_i + M_{i+1}/t_{i+1}) \times t_{i,i+1}/2$$

用相邻两次采集的径流量及其间隔时间进行插补计算。式中, $M_{i,i+1}$ 为第*i*, *i*+1采集时间间隔内的鱼卵仔鱼径流量, $t_{i,i+1}$ 为第*i*, *i*+1次采集时间间隔(s)。

采集河段的卵苗总径流量为:

$$M = \sum M_i + \sum M_{i,i+1}$$

数据和图像分析采用SPSS 23.0和ArcGIS10.4.1等软件分析处理。

2 结果

2.1 青海湖裸鲤卵苗径流量及物种确定

随机选取的10个样本, 其中卵5粒, 苗5尾。经过生物公司PCR扩增和测序, 序列拼接合成后返回, 经校对后序列与青海湖裸鲤成鱼DNA数据库序列比对, 该数据库由本实验室测得的成鱼DNA数据组成, 比对数据同源性均达到99%以上; 同时与NCBI库中青海湖裸鲤DNA数据对比, 比对数据同源性达到99%以上, 并发现种内遗传距离均极小, 且与NCBI库中青海湖裸鲤共享同一个单倍型(图2)。因此, 可以确定所采集鱼卵仔鱼样本均为青海湖裸鲤(*G. przewalskii*)。

2019年5月26日至9月2日, 共在沙柳河调查100日, 总计采集鱼卵3386粒, 仔鱼4690尾。4月份河流还未解冻, 5月中上旬河流开始解冻, 5月28日水位上升, 水温增高, 亲鱼开始洄游, 沙柳河最早于6月8日发现鱼卵, 鱼卵为沉性和黏性卵, 脱黏后才开始漂流; 6月25日发现仔鱼。

经青海湖裸鲤鱼卵仔鱼数量及断面流量估算, 沙柳河鱼卵仔鱼总径流量为 87.58×10^6 粒(尾), 仔鱼径流量为 62.00×10^6 尾, 日径流量最大值为 29.30×10^6 尾, 仔鱼径流量出现了2个明显的峰值, 其中8月6日至8月9日为大高峰, 8月19日至8月22日为小高峰; 鱼卵径流量为 25.58×10^6 粒, 日径流量最大值为 2.46×10^6 粒, 其中7月3日至7月17日为大高峰, 7月23日至8月8日为小高峰。

2.2 青海湖裸鲤早期资源的时间分布特征

沙柳河鱼卵日平均丰度为 (14.86 ± 22.16) ind./100 m³ (mean±SD)。鱼卵自6月8日出现起逐渐增加, 7月初达到最高峰, 后呈下降趋势, 至7月底出现第二个峰值, 集中出现于7月初和7月底, 至8月中旬鱼卵逐渐消失, 共出现2次峰值, 分别为7月9日98.28 ind./100 m³、8月2日62.10 ind./100 m³。由此表明青海湖裸鲤6月初有少量繁殖, 之后逐渐增多, 繁殖高峰期集中在7月上旬, 8月初繁殖基本结束。

仔鱼日平均丰度为 (21.62 ± 39.64) ind./100 m³ (图3)。仔鱼在6月份有少量出现, 自7月初呈波动式上升趋势, 8月初达到峰值, 之后呈现明显下降趋势, 9月初仔鱼逐渐消失, 共出现1次峰值, 为8月7日260.71 ind./100 m³。

2019年沙柳河昼夜监测断面显示, 鱼卵丰度自7月10日起呈波动式递增, 至7月23日达到峰值, 夜间为315.86 ind./100 m³, 白天为15.05 ind./100 m³, 之后开始递减, 日平均丰度值夜间为 (104.53 ± 120.55) ind./100 m³, 白天为 (6.23 ± 5.35) ind./100 m³ (图4a)。仔鱼丰度自7月10日起逐渐递增, 至8月

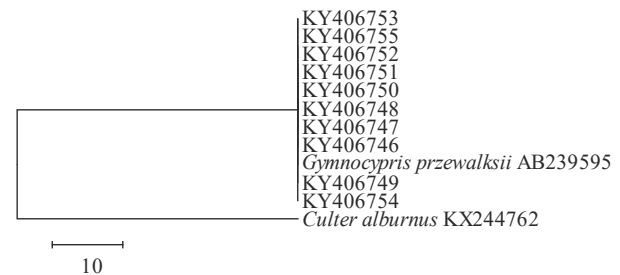


图2 青海湖裸鲤基于CO I 建立的系统进化分析

Fig. 2 Phylogenetic analysis of *G. przewalskii* populations using the mitochondrial CO I sequences

其他物种的CO I 序列均来自NCBI数据库

The CO I sequences of other species were downloaded from GenBank (NCBI)

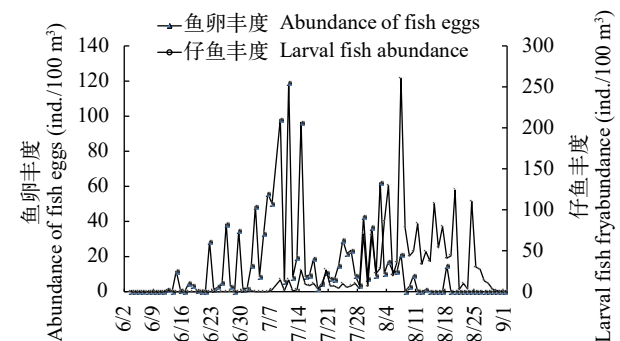


图3 沙柳河鱼卵仔鱼丰度逐日变化

Fig. 3 The abundance of daily variation of fish eggs and larvae in Shaliu River

11日达到峰值, 夜间为 $453.62 \text{ ind./100 m}^3$, 白昼为 $82.87 \text{ ind./100 m}^3$, 之后开始下降, 昼夜变动趋势基本一致, 日平均丰度值夜间为 $(191.83 \pm 145.06) \text{ ind./100 m}^3$, 白天为 $(26.82 \pm 29.68) \text{ ind./100 m}^3$ (图4b)。

对沙柳河2号断面昼夜鱼卵仔鱼丰度数据进行显著性分析, 对比分析青海湖裸鲤早期资源昼夜差异性。Kruskal-Wallis检验表明, 昼夜仔鱼丰度存在极显著性差异($P < 0.01$), 昼夜鱼卵丰度存在显著差异($P < 0.05$)。

2.3 青海湖裸鲤早期资源的空间分布特征

对沙柳河4个断面的鱼卵仔鱼丰度数据进行显著性分析, 对比分析青海湖裸鲤早期资源河流空间上的差异性。Kruskal-Wallis检验表明, 沙柳河四个

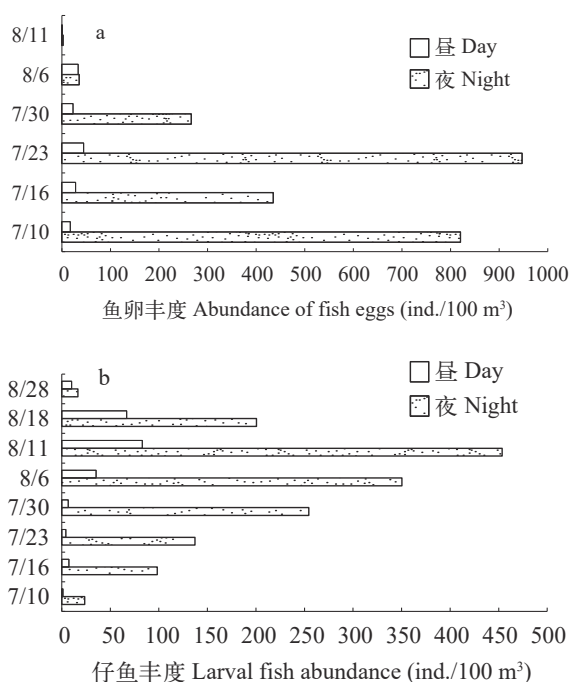


图4 沙柳河鱼卵仔鱼丰度昼夜变化

Fig. 4 The abundance of fish eggs and larvae varies day and night in Shaliu River

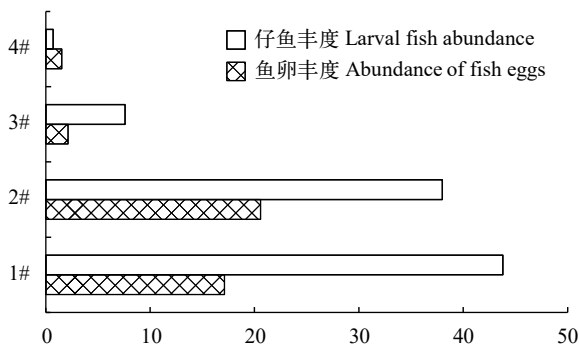


图5 沙柳河4个断面鱼卵仔鱼丰度变化

Fig. 5 The abundance of fish eggs and larvae in 4 sections of Shaliu River

断面鱼卵丰度无显著差异($P > 0.05$), 沙柳河鱼卵平均丰度分布呈2号断面>1号断面>3号断面>4号断面, 各断面鱼卵平均丰度依次为20.56、17.11、2.14和 $1.53 \text{ ind./100 m}^3$; 仔鱼平均丰度分布呈1号断面>2号断面>3号断面>4号断面, 各断面仔鱼平均丰度依次为43.77、37.98、7.60和 $0.71 \text{ ind./100 m}^3$ (图5)。

对沙柳河2号断面左岸、右岸和中心3个采样点的鱼卵仔鱼丰度数据进行显著性分析, 对比分析青海湖裸鲤断面空间上的差异性。Kruskal-Wallis检验表明, 2号断面鱼卵平均丰度分布呈左岸>右岸>中心, 各采样点卵平均丰度依次为54.13、40.78和 $21.62 \text{ ind./100 m}^3$; 2号断面左岸、右岸和中心3个采样点的仔鱼丰度差异不显著($P > 0.05$), 仔鱼平均丰度分布呈左岸>右岸>中心, 各采样点仔鱼平均丰度依次为35.53、34.89和 $18.86 \text{ ind./100 m}^3$ (图6)。

2.4 青海湖裸鲤早期资源与水文环境因子之间的关系

在调查期间, 青海湖沙柳河水文变化范围为水温 $5.1—21.8^\circ\text{C}$, 平均值为 $(11.89 \pm 3.14)^\circ\text{C}$; 透明度 $2—100 \text{ cm}$, 平均值为 $(31 \pm 18) \text{ cm}$; 溶解氧 $6.25—9.40 \text{ mg/L}$, 平均值为 $(8.02 \pm 0.58) \text{ mg/L}$; pH $7.84—9.07$, 平均值为 8.73 ± 0.19 ; 盐度 $0.10\%—0.35\%$, 平均值为 $(0.21 \pm 0.05)\%$; 流速 $0.06—0.80 \text{ m/s}$, 平均值为 $(0.29 \pm 0.14) \text{ m/s}$, 最大日上涨率为 0.22 m/s ; 断面深度 $15—110 \text{ cm}$, 平均值为 $(39 \pm 18) \text{ cm}$; 沙柳河径流量为 $6.8—131.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 最大日上涨率 $117 \text{ m}^3/\text{s}$; 通过SPSS对青海湖裸鲤早期资源与水文环境因子进行的皮尔逊相关性分析发现, 青海湖裸鲤鱼卵日丰度变化与流速呈显著正相关($P < 0.05$; 图7a), 回归方程为 $y = 33.06x + 5.72$, 与温度呈显著负相关($P < 0.05$; 图7b), 回归方程为 $y = -0.02x + 12.34$; 青海湖裸鲤仔鱼日丰度变化与流速呈极显著正相关($P < 0.01$; 图7c), 回归方程为 $y = 77.65x + 7.99$, 与径流量日上涨率呈极显著正相关($P < 0.01$; 图7d)。

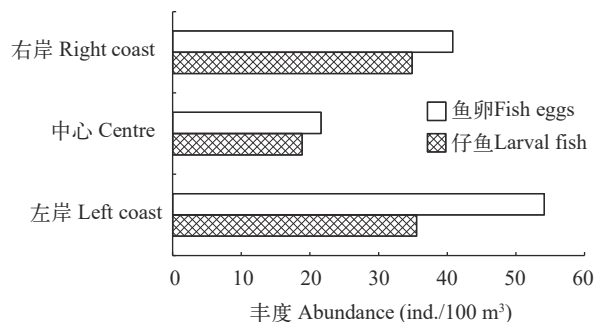


图6 沙柳河2号断面各采样点鱼卵仔鱼丰度变化

Fig. 6 The abundance of fish eggs and larvae in section 2 of Shaliu river

3 讨论

3.1 青海湖裸鲤卵苗出现情况及资源补充量

本研究发现, 沙柳河从5月底河道解冻后, 水位上升, 水温增高, 亲鱼开始洄游^[9], 至9月份繁殖结束, 河道中仔鱼大多已回湖, 冰封开始, 相比于布哈河10月初仔鱼回湖结束^[15], 沙柳河仔鱼回湖时间较早。亲鱼洄游始于5月底, 亲鱼洄游1周后在河道内发现鱼卵, 近1月后发现初孵仔鱼。

青海湖裸鲤早期资源的研究相对较少, 仅张宏等^[15]报道了青海湖最大的支流布哈河早期资源状况。沙柳河作为青海湖入湖径流量第二大贡献河流, 对于青海湖裸鲤资源的补充贡献非常重要, 沙柳河水流多年平均径流量为 $2.51 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占入湖径流量的15%^[16], 2019年沙柳河对青海湖裸鲤资源补充鱼卵仔鱼总径流量为 87.58×10^6 粒(尾), 其中鱼卵补充径流量为 25.58×10^6 粒, 仔鱼补充径流量为 62.00×10^6 尾。

3.2 青海湖裸鲤早期资源时空分布

鱼卵自6月8日第一次出现, 随后逐渐增加, 7月9日达到第一个峰值后呈波动式变化, 7月29日出现第二个峰值后逐渐减少, 8月中旬河道中未再发现鱼卵; 仔鱼于6月25日第一次出现, 至8月7日达到最高峰值, 随后逐渐减少, 9月初仔鱼基本消失。仔鱼出现时间较鱼卵滞后半月有余, 高峰期滞后近1个

月。青海湖裸鲤繁殖季节洪水频发, 亲鱼洄游极易受阻^[16], 导致繁殖中断, 繁殖时间延长, 因而出现多个鱼卵高峰期; 其次特殊的高原气候, 雨热同季, 导致繁殖高峰期河水水温较高, 孵化期缩短, 仔鱼孵化较为集中。

本研究发现鱼卵丰度昼夜分布差异显著($P < 0.05$), 仔鱼丰度昼夜分布差异极显著($P < 0.01$), 鱼卵仔鱼1d的漂流高峰时间主要集中于夜间, 这与Marchetti和Moyce^[17]、White和Harvey^[18]的研究相似。根据现场监测情况, 夜间的水温更适合亲鱼繁殖产卵^[15]。沙柳河河水透明度高, 水中光线极强, 不利于仔鱼白天活动摄食, 调查期间, 还发现大部分仔鱼会向弱光或无光处聚集, 藏匿于石缝中, 说明仔鱼具有较强避光性, Pavlov等^[19]的研究也表明, 当光线较强时, 仔鱼会主动避免强光伤害, 躲避敌害, 故而夜间更为活跃。唐锡良等^[20]和徐薇等^[21]对长江一些江段的研究表明鱼卵和仔鱼丰度在昼夜无显著性差异, 这应是水域环境差异和种间特异性的影响。此外, 长江上游很多产漂流性卵的鱼类对产卵场要求较低, 导致鱼类总体产卵时间分散, 对鱼卵仔鱼丰度昼夜差异产生了一定的影响^[14]。青海湖裸鲤的产卵场是以砂砾底质为主, 大小卵石分布其间, 处于水流缓慢的河道浅滩^[22], 对产卵环境要求较高, 河段内适宜的产卵场较少, 致使许多亲鱼在同一产卵场聚集, 增加了集中产卵的可能性,

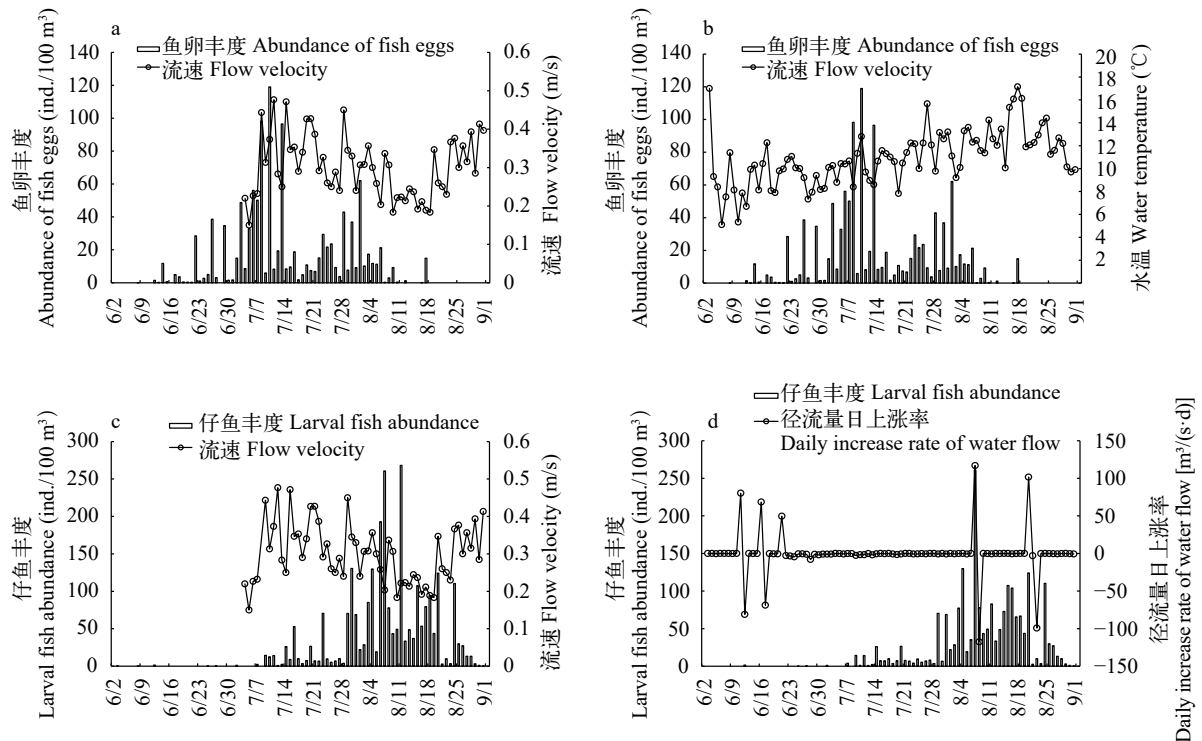


图7 沙柳河各环境因子对鱼卵仔鱼丰度的影响

Fig. 7 Effects of various environmental factors on the abundance of fish eggs and larvae in Shaliu River

因此形成了鱼卵仔鱼丰度在夜间显著高于白天的特点。

河流鱼类早期资源漂流丰度受仔鱼自主游泳能力、洄游亲鱼量等、洪水和流速等因素的影响^[23]。鱼卵和仔鱼丰度在同一河流不同断面分布存在差异,整体上离河口由远及近鱼卵丰度依次递增,这是由于离河口越远亲鱼洄游量就越少,产卵量也就越少,鱼卵和早期仔鱼具有漂流性^[14],故而越靠近河口丰度越高。但2号断面鱼卵丰度高于1号断面,结合现场调查情况分析,是由于2号断面附近相比1号断面附近产卵场较多。鱼卵和初孵仔鱼漂流一般存在一定的规律,岸边丰度要高于江心^[24, 25]。本研究发现鱼卵仔鱼的断面分布也存在差异,右岸丰度最高,左岸次之,但左右岸差异不显著,河道中心最小,与左右岸差异显著,对于有一定游泳能力的后期仔鱼,发现在沿岸浅滩、回水区和流速缓慢的小分叉分布密集,与后期仔鱼具有一定的游泳和自主能力有关^[23]。岸边较中心流速小,更利于仔鱼活动,且左右岸岸边植被多以草滩为主,随着水流的冲刷,能为仔鱼提供丰富的饵料生物,也可能与调查河段地形相关。

3.3 环境因子与青海湖裸鲤卵苗丰度的关系

水温 and 流速是影响鱼卵仔鱼丰度的重要环境因子^[19]。研究表明,亲鱼需要在特定的水温条件下,同时有适宜水位涨幅才能促使排卵^[26],与大多数鲤科鱼类相似,青海湖裸鲤亲鱼也需要在特定的水温条件(6.0—17.5℃)下进行繁殖^[27]。皮尔逊相关性分析结果显示,温度对鱼卵丰度变化有着较高的影响,鱼卵出现时的河道水温为6.70—17.14℃,鱼卵丰度最高时水温为12.8℃,鱼卵丰度随温度变化呈现一定变化规律^[28, 29]。有研究发现鱼卵丰度与水温呈现负相关性^[30],而青海湖裸鲤在8月之前鱼卵仔鱼密度随着温度的升高呈现显著的上升趋势,随着时间推移,8月之后鱼卵数量逐渐减少直至消失。

鱼类的繁殖与环境因子、水文条件密切相关,同时水文条件的变化往往不是单一因子的变化,如涨水是包括水位升高、流量增大、流速加快、透明度减小、水温变低、溶解氧增加及流态紊乱等一系列水文要素变化的过程,它们之间有一定的相互关联,即水位升高是流量加大的结果,流量增大必然伴随流速加快和透明度减小,一系列的变化都会影响到鱼类早期资源量和丰度等的变化^[31]。而本文相关性分析结果显示,随着河流径流量增大,径流量日上涨率对仔鱼丰度的影响呈极显著正相关,并伴有流速增大,鱼卵仔鱼丰度受流速影响也随之上升,流速对鱼卵仔鱼丰度的影响呈现正相关,

繁殖季节的沙柳河极易发生洪峰,随之引起的流量增大和流速加快,对于无游泳能力或弱游泳能力的鱼卵仔鱼,只能随波逐流,曹文宣等^[14]也认为,鱼卵仔鱼丰度与径流量、流速等水文因子息息相关,鉴于此,后续应增加地势和河床地形等因素来深入研究鱼卵仔鱼丰度的变化。

致谢:

感谢青海湖裸鲤救护中心工作人员对本文采样工作的支持。

参考文献:

- [1] Shen F, Kuang D B. Remote sensing survey and research on changes of Qinghai lake in recent 25 years [J]. *Journal of Lake Science*, 2003, **15**(4): 289-296. [沈芳, 匡定波. 青海湖最近25年变化的遥感调查与研究 [J]. *湖泊科学*, 2003, **15**(4): 289-296.]
- [2] Liu J. Research on life cycle types of *Gymnocypris przewalskii* from Qinghai lake [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2005, **25**(4): 17-20. [刘军. 青海湖裸鲤生活史类型的研究 [J]. *四川动物*, 2005, **25**(4): 17-20.]
- [3] Wang J L, Shi J Q. Current situation and countermeasures of fishery resources in Qinghai lake [J]. *Fishery Science and Technology Information*, 1995, **22**(1): 42-43. [王基琳, 史建全. 青海湖渔业资源的现状及对策 [J]. *水产科技情报*, 1995, **22**(1): 42-43.]
- [4] Shi J Q, Qi H F, Yang J X. Natural situation of Qinghai lake and current situation of fishery resources [J]. *Freshwater Fisheries*, 2004, **34**(5): 3-5. [史建全, 祁洪芳, 杨建新. 青海湖自然概况及渔业资源现状 [J]. *淡水渔业*, 2004, **34**(5): 3-5.]
- [5] Shi J Q, Qi H F. An overview of the proliferation and release of *Gymnocypris przewalskii* in Qinghai lake [J]. *Chinese Fisheries Economy*, 2009, **27**(5): 80-84. [史建全, 祁洪芳. 青海湖裸鲤资源增殖放流概述 [J]. *中国渔业经济*, 2009, **27**(5): 80-84.]
- [6] In order to effectively protect the national important and rare aquatic economic animals *Gymnocypris przewalskii*, the People's Government of Qinghai Province has again decided to implement the closure of Qinghai Lake for fish breeding [J]. *Journal of Qinghai Environment*, 1994, **4**(4): 203. [为有效地保护国家重要和名贵的水生经济动物-青海湖裸鲤—青海省人民政府再次决定对青海湖实行封湖育鱼 [J]. *青海环境*, 1994, **4**(4): 203.]
- [7] Qinghai lake closed again for fish breeding [J]. *Reservoir Fisheries*, 1995(2): 5.
- [8] Shi J Q, Qi H F, Yang J X, et al. Evaluation of proliferation and release effect of *Gymnocypris przewalskii* from Qinghai lake [J]. *Agricultural Extension Service*, 2016, **33**(12): 128-129. [史建全, 祁洪芳, 杨建新, 等. 青海湖裸鲤增殖放流效果评估 [J]. *农技服务*, 2016, **33**(12):

- 128-129.]
- [9] Xiong F. Studies on biology of spawning stocks of *Gymnocypris przewalskii przewalskii* (Kessler) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2003: 30-31. [熊飞. 青海湖裸鲤繁殖群体生物学 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2003: 30-31.]
- [10] Zhang X, Xiong F, Tang H Y, *et al.* Study on reproductive biology of *Gymnocypris przewalskii przewalskii* [J]. *Marine Fisheries Research*, 2005, **26**(3): 61-67. [张信, 熊飞, 唐红玉, 等. 青海湖裸鲤繁殖生物学研究 [J]. *渔业科学进展*, 2005, **26**(3): 61-67.]
- [11] Chen D Q. Guidelines for River Aquatic Biology Survey [M]. Beijing: Science Press, 2014: 214-236. [陈大庆. 河流水生生物调查指南 [M]. 北京: 科学出版社, 2014: 214-236.]
- [12] Wu J M, Wang Q Q, Liu F, *et al.* Early fish resources in chishui section of Chishui River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, **19**(11): 1270-1276. [吴金明, 王芊芊, 刘飞, 等. 赤水河赤水段鱼类早期资源调查研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2010, **19**(11): 1270-1276.]
- [13] Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, *et al.* The Distribution, Natural Conditions and Breeding Production of the Spawning Grounds of Four Famous Freshwater Fishes on the Main Stream on the Yangtze River [M]//Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, *et al* (Eds.), *Gezhouba Water Control Project and Four Famous Fishes in Yangtze River*. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1988: 1-46. [易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 等. 长江干流草, 青, 鲢, 鳙四大家鱼产卵场的分布, 规模和自然条件 [M]//易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 等. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1988: 1-46.]
- [14] Cao W X, Chang J B, Qiao Y, *et al.* Fish Resources of Early Life History Stages in Yangtze River [M]. Beijing: China Water Power Press, 2007: 31-252. [曹文宣, 常剑波, 乔焱, 等. 长江鱼类早期资源 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 31-252.]
- [15] Zhang H, Tan X C, Shi J Q, *et al.* Spatiotemporal distribution of eggs of *Gymnocypris przewalskii* fry in Qinghai lake, Buha River [J]. *Ecology Science*, 2009, **28**(5): 443-447. [张宏, 谭细畅, 史建全, 等. 布哈河青海湖裸鲤鱼苗鱼卵的时空分布研究 [J]. *生态科学*, 2009, **28**(5): 443-447.]
- [16] Yu L X. effects of river disruption on reproductive migration of *Gymnocypris przewalskii* from Qinghai Lake [J]. *Hebei Fisheries*, 2017(1): 28-30. [俞录贤. 浅议河流断流对青海湖裸鲤生殖洄游的影响 [J]. *河北渔业*, 2017(1): 28-30.]
- [17] Marchetti M P, Moyle P B. Spatial and temporal ecology of native and introduced fish larvae in lower putah creek, California [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2000, **58**(1): 75-87.
- [18] White J L, Harvey B C. Basin-scale patterns in the drift of embryonic and larval fishes and lamprey ammocoetes in two coastal rivers [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2003, **67**(4): 369-378.
- [19] Pavlov D S. The downstream migration of young fishes in rivers: mechanisms and distribution [J]. *Folia Zoologica*, 1994, **43**(3): 193-208.
- [20] Tang X L, Chen D Q, Wang K, *et al.* Study on the spatial and temporal distribution characteristics of early fish resources in the Jiangjin River section of the upper reaches of the Yangtze River [J]. *Freshwater Fisheries*, 2010, **40**(5): 27-31. [唐锡良, 陈大庆, 王珂, 等. 长江上游江津江段鱼类早期资源时空分布特征研究 [J]. *淡水渔业*, 2010, **40**(5): 27-31.]
- [21] Xu W, Liu H G, Tang H Y, *et al.* Effects of ecological operation of three gorges reservoir on fish eggs and larvae in Shashi Section of the Yangtze River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2014, **35**(2): 1-8. [徐薇, 刘宏高, 唐会元, 等. 三峡水库生态调度对沙市江段鱼卵和仔鱼的影响 [J]. *水生态学杂志*, 2014, **35**(2): 1-8.]
- [22] Shi J Q, Qi H F. Study on reproductive biology of *Gymnocypris przewalskii* [J]. *Qinghai Science and Technology*, 2000, **7**(2): 12-15. [史建全, 祁洪芳. 青海湖裸鲤繁殖生物学研究 [J]. *青海科技*, 2000, **7**(2): 12-15.]
- [23] Elisabeth S, Michael T, Paul H, *et al.* Dispersal and retention of larval fish in a potential nursery habitat of a large temperate river: An experimental study [J]. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences*, 2012, **69**(8): 1302-1315.
- [24] Chang J B, Deng Z L, Zhang G H, *et al.* Feasibility and Benefit Evaluation of jiangna Miao in Honghu Irrigation. Development of Aquatic Organisms and Resources in Honghu Lake [M]. Beijing: Science China Press, 1995: 220-229. [常剑波, 邓中彝, 张国华, 等. 洪湖灌江纳苗的可行性及效益评价. 洪湖水生生物及资源开发 [M]. 北京: 科学出版社, 1995: 220-229.]
- [25] Martin R, Pavel J, Carl S. Spatial distribution of drifting cyprinid fishes in a shallow lowland river [J]. *Fundamental and Applied Limnology*, 2004, **159**(3): 395-407.
- [26] Li M Z, Jiang W, Gao X, *et al.* Status quo of early life history stages at Wuxue cross-section of the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(6): 1211-1217. [黎明政, 姜伟, 高欣, 等. 长江武穴江段鱼类早期资源现状 [J]. *水生生物学报*, 2010, **34**(6): 1211-1217.]
- [27] Hu A, Tang S S, Gon S X. Fish Fauna and Biology of *Gymnocypris przewalskii przewalskii* (Kessler) in Qinghai Lake area [M]. Beijing: Science Press, 1975: 49-62. [胡安. 唐诗声, 龚生兴. 青海湖地区的鱼类区系和青海湖裸鲤的生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1975: 49-62.]
- [28] Zhang C L. Studies on the survival rate, feeding behavior and growth development of larvae in three serranidae [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016: 7-29. [张春禄. 三种鲈科鱼类仔稚鱼的存活率、摄食行为及其生长发育的观察研究 [D]. 上海: 上海海洋大学,

- 2016: 7-29.]
- [29] Kadye W T, Magadza C H D, Moyo N A G, *et al.* Stream fish assemblages in relation to environmental factors on a montane plateau (Nyika Plateau, Malawi) [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2008, **83**(4): 417-428.
- [30] Li X F, Ding L Q, He X H, *et al.* Community characteristics of larvae and juvenile fishes in the anqing section of the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(6): 1300-1310. [李新丰, 丁隆强, 何晓辉, 等. 长江安庆段仔稚鱼群落特征调查研究 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(6): 1300-1310.]
- [31] Tang X L. Studies on early fish resources in Jiangjin cross-section in the upstream of Yangtze River [D]. Chongqing: Southwest University, 2010: 27-40. [唐锡良. 长江上游江津江段鱼类早期资源研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2010: 27-40.]

THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION IN EARLY LIFE HISTORY STAGES OF *GYMNOCYPRIS PRZEWALSKII* IN SHALIU RIVER

TAN Long-Fei¹, XU Dong-Po^{1,2}, QI Hon-Fang³, FANG Di-An^{1,2}, DING Long-Qiang¹, A Huai-Yun³, LI Yuan-Dong², WU Yan-Hon³ and MAO Cheng-Cheng²

(1. National Demonstration Centre for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Centre, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China; 3. Provincial Key Laboratory of Breeding and Protection of Qinghai Lake Naked Carp of Qinghai, Qinghai 810016, China)

Abstract: *Gymnocypris przewalskii* is a typical plateau cold-water fish with saline-alkali tolerance, and the only aquatic economic animal in Qinghai Lake. It is the core of the entire ecosystem of Qinghai Lake that was once endangered, which is gradually recovering. To investigate the spatiotemporal variation characteristics of eggs and larvae of *G. przewalskii* in the Shaliu River, the second largest tributary of Qinghai Lake, a total of 3386 eggs and 4690 larvae of *G. przewalskii* were collected from 26 May to 2 September, 2019. The results indicated that the parents fish began to migrate at the end of May, and the eggs appeared in early June. The egg production peaked from late June to early July, then gradually decreased, and basically disappeared in mid-August. The number of eggs peaked in July, tapered off in mid-August, and then disappeared. The number of larvae increased from early July, peaked in August and gradually disappeared in early September. It was estimated that the eggs runoff of the Shaliu River was 25.58×10^6 , and the larvae runoff was 62.00×10^6 . The spatial distribution of eggs seedlings was that the abundance decreased successively from the estuary upwards, and the horizontal distribution of cross section was the center > on the right bank and > on the left bank. Kruskal-wallis test showed that there was a significant difference in eggs abundance between day and night ($P < 0.05$); the abundance of larvae between day and night was significantly different ($P < 0.01$); the floating peak of eggs seedlings were all concentrated at night. There was a significant positive correlation between eggs abundance and flow rate ($P < 0.05$), and the abundance of larvae was significantly positively correlated with flow rate ($P < 0.01$), which was significantly positively correlated with the daily increase rate of runoff ($P < 0.01$). This first study filled in the gap of the abundance of eggs and larvae of *G. przewalskii* in this water area to provide basic data for estimating the amount of upstream parents and juvenile fish entering Qinghai Lake of *G. przewalskii* and scientific basis for protecting the resources management and protection of *G. przewalskii*.

Key words: *Gymnocypris przewalskii*; Fish in early life stages; Recruitment of fish; Spatial and temporal variation of distribution; Environmental factors; Shaliu River