



雅砻江中游厚唇裸重唇鱼不同年龄鉴定材料的比较

万卓坤¹, 甘维熊², 赵春娴¹, 曾如奎², 丁钰玮¹,
李天才², 冯雪¹, 白云鹏¹, 付梅¹, 姚维志^{1*}, 吕红健^{1*}

(1. 西南大学水产学院, 农业农村部长江上游水生生物多样性保护研究中心,

渔业资源环境研究中心, 重庆 400716;

2. 雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610000)

摘要: 厚唇裸重唇鱼是我国特有的裂腹鱼类, 于2021年被列入国家二级保护动物。为探究厚唇裸重唇鱼的最适年龄鉴定材料, 实验以2020年10—11月在雅砻江中游所采集的83尾厚唇裸重唇鱼为研究对象, 对其微耳石、星耳石、脊椎骨、臀鳞、鳃盖骨、背鳍条和匙骨7种年龄鉴定材料进行比较研究, 以确定适合的年龄鉴定材料。结果显示, 背鳍条和匙骨上未出现轮纹, 且星耳石上轮纹密集复杂, 无法计数; 因此, 背鳍条、匙骨和星耳石不适合作为厚唇裸重唇鱼的年龄鉴定材料。微耳石磨片轮纹清晰度最高, 同一观察者2次年龄读数间的吻合率(CR)最高(84.34%), 平均百分比误差(IAPE)最低(1.38%), 为厚唇裸重唇鱼最适合的年龄鉴定材料。但是, 微耳石重量尚不能直接用于厚唇裸重唇鱼的年龄估算。此外, 脊椎骨与微耳石磨片的年龄读数差异较小(CR: 96.39%, IAPE: 0.52%), 二者相互参照能使厚唇裸重唇鱼的年龄鉴定结果更加准确。臀鳞仅适用于厚唇裸重唇鱼低龄个体(≤5龄)的年龄鉴定, 鳃盖骨较不适合作为厚唇裸重唇鱼的年龄鉴定材料。研究结果填补了厚唇裸重唇鱼在年龄鉴定方面的空白, 并为后续厚唇裸重唇鱼在生长、摄食、繁殖特性等基础生物学研究方面提供了可靠的年龄鉴定材料。综上所述, 微耳石是厚唇裸重唇鱼的最适年龄鉴定材料, 且辅以脊椎骨将使年龄鉴定结果更准确。

关键词: 厚唇裸重唇鱼; 年龄鉴定; 微耳石; 脊椎骨; 臀鳞; 雅砻江中游

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

厚唇裸重唇鱼 (*Gymnodiptychus pachycheilus*) 属鲤形目 (Cypriniformes) 鲤科 (Cyprinidae) 裂腹鱼亚科 (Schizothoracinae) 裸重唇鱼属 (*Gymnodiptychus*), 为我国特有种^[1]。其唇发达, 肥厚多肉, 下唇分左、右叶, 表面具明显褶皱, 仅肩带及臀鳍基部具少量鳞片, 其余部位裸露无鳞, 因此得名“厚唇裸重唇鱼”^[2]。据相关调查数据显示, 厚唇裸重唇鱼主要分布在黄河水系上游和金沙江水系

雅砻江中上游^[3]。上述分布范围属高原水生生态系统, 具有结构简单、生产力低下的特点, 且容易受到外界的影响^[4]。此外, 厚唇裸重唇鱼这类高原鱼类因具有生长缓慢、资源补充周期长、对生境高度适应和依赖等特点, 生态系统的扰动将对其野生资源量造成不同程度的影响, 甚至破坏^[5]。近年来, 随着人类活动的增加, 以及受到全球气候变化因素的影响, 厚唇裸重唇鱼的野生

收稿日期: 2021-11-22 修回日期: 2022-02-28

资助项目: 国家自然科学基金(31802296); 雅砻江流域水电开发有限公司科研项目(YLGZ-GZA-ZZ2020232);

农业农村部长江流域渔政监督管理办公室资助项目(171821301354051042, 17200302)

第一作者: 万卓坤(照片), 从事渔业资源与环境保护研究, E-mail: 939730064@qq.com

通信作者: 姚维志, 从事渔业资源评估与管理研究, E-mail: yaowz@swu.edu.cn;

吕红健, 从事渔业资源与环境保护研究, E-mail: hongjianlv@swu.edu.cn



资源量已出现严重衰退^[2,6-8], 并于 2021 年被列入国家二级保护动物^[9]。因此, 亟需开展厚唇裸重唇鱼的基础生物学研究, 从而为其野生渔业资源的评估与保护工作提供技术支持。众所周知, 年龄鉴定是渔业资源研究和管理的基础, 其结果直接关系到鱼类种群分析和资源现状评估的准确性与可信度, 故比较和评估厚唇裸重唇鱼的年龄鉴定材料是开展其基础生物学研究的基础和必要条件^[10]。

截至目前, 许多研究已报道了裂腹鱼类不同年龄鉴定材料读数的异同, 并发现一般耳石的鉴定准确性较高, 其他年龄鉴定材料起到一定的辅助作用^[10-12]。然而, 在对色林错裸鲤 (*Gymnocypris selincuoensis*)、青海湖裸鲤 (*G. przewalskii*) 和花斑裸鲤 (*G. eckloni*) 的研究中, 研究人员发现针对 6 龄及以下个体, 背鳍条能够替代耳石作为最佳年龄鉴定材料^[13-15]。此外, 在对细鳞裂腹鱼 (*Schizothorax chong*) 的研究中, 发现臀鳞可作为低龄个体 (即 ≤ 3 龄) 的最佳年龄鉴定材料^[16]。由此可见, 不同裂腹鱼类的最佳年龄鉴定材料, 以及针对同一种鱼类各年龄鉴定材料对不同年龄组个体的鉴定准确性可能会有所不同。上述推论, 在许多非裂腹鱼类的年龄鉴定研究中同样得到了验证^[17-22]。因此, 在研究每一种鱼类年龄时, 应对其不同年龄鉴定材料进行评估和比较^[23-24]。目前有关厚唇裸重唇鱼的研究报道, 主要集中在生物学特性、疾病防治、种群生物地理学、胚胎发育、遗传结构等方面^[2, 6, 25-27], 尚缺乏对其不同年龄鉴定材料的对比研究。另外, 雅砻江作为厚唇

裸重唇鱼的主要分布区域之一, 迄今未见有关该区域厚唇裸重唇鱼的任何基础生物学研究报道。因此, 本研究拟开展雅砻江中游厚唇裸重唇鱼不同年龄鉴定材料的比较研究, 通过对厚唇裸重唇鱼微耳石、脊椎骨、臀鳞、鳃盖骨 4 种钙质结构的年龄鉴定结果进行比较, 筛选出最适合的年龄鉴定材料, 旨在填补雅砻江中上游厚唇裸重唇鱼在年龄鉴定方面的研究空白, 并为后续厚唇裸重唇鱼的生长、摄食、繁殖特性等随年龄变化的研究提供可靠的年龄鉴定材料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本研究于 2020 年 10—11 月, 在雅砻江中游雅江县至新龙县 (四川省甘孜藏族自治州境内, 采样点如图 1 所示, 自北至南编号为采样点 I~V) 采集厚唇裸重唇鱼样本 83 尾。将所采集样本带回实验室统一分析, 测量全长、体长和体重, 长度精确至 1 mm, 重量精确至 0.1 g, 样本采集信息见表 1。本实验中, 操作人员严格按照动物实验伦理规范进行操作。

1.2 年龄鉴定材料选择预实验

本研究选用厚唇裸重唇鱼微耳石、星耳石、脊椎骨、臀鳞、鳃盖骨、背鳍条和匙骨作为厚唇裸重唇鱼的年龄鉴定材料。经观察发现, 厚唇裸重唇鱼匙骨和背鳍条上未出现轮纹, 且星耳石上轮纹密集复杂, 无法对其计数。因此, 本研究仅

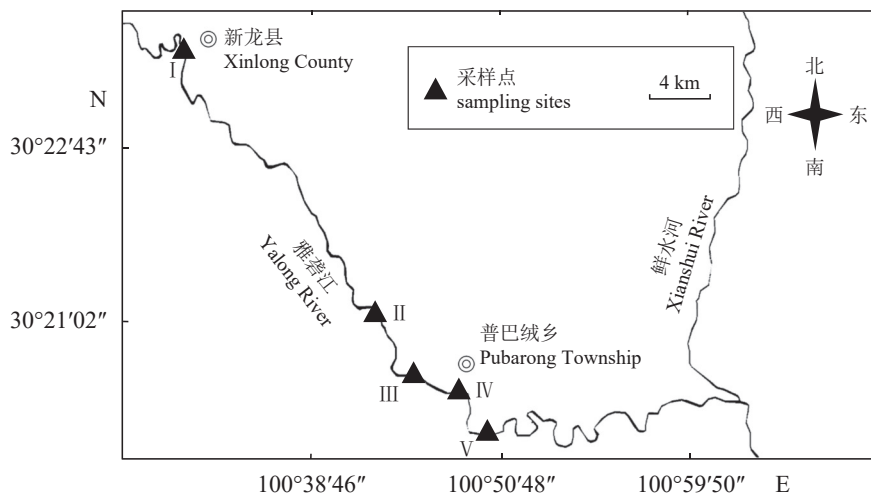


图 1 雅砻江厚唇裸重唇鱼采样点示意图

Fig. 1 Sampling sites for *G. pachycheilus* in the middle reach of Yalong River

表 1 雅砻江厚唇裸重唇鱼的采集信息

Tab. 1 Basic data of *G. pachycheilus* from different sampling sites in the Yalong River

采样点 sampling sites	不同采样时间的采集样本数/尾 number of samples collected in different months				样本总数/尾 total number of samples	体长/mm body length	体重/g body weight
	10月 October	11月 November					
I	7	8			15	186.0~432.0	73.80~929.20
II	6	5			11	176.0~382.0	65.70~1 159.30
III	6	6			12	203.0~270.0	86.80~218.10
IV	10	6			16	184.0~382.0	72.40~743.10
V	11	18			29	184.0~446.0	74.00~1 068.10

使用微耳石、脊椎骨、臀鳞和鳃盖骨 4 种钙化组织进行后续的比较研究。

1.3 年龄鉴定材料处理

微耳石 微耳石取出后用酒精漂洗, 纯水冲净后于 40 °C 烘箱中烘烤 24 h, 电子天平称重 (称量 3 次, 取平均值, 精确至 0.1 mg), 用水晶胶将其内侧面 (即较平整一面) 向下固定在载玻片上, 先用 600 # 水砂纸粗磨, 再用 1 000 # 的水砂纸细磨。打磨过程中加水湿润, 并反复在显微镜 (Olympus SC180) 下观察, 防止磨偏或磨过, 直至出现清晰轮纹后, 再使用 3 000 # 的水砂纸进行抛光, 最后在上述显微镜下观察, 并采集图像。

脊椎骨 取样本第 5~10 节脊椎骨, 在沸水中煮 3~5 min, 剔除附着的肌肉及结缔组织。之后将其置于 2% KOH 溶液中浸泡 24 h, 期间每隔 6 h 观察并剔除附着组织, 剪去多余骨棘。将剔净后的脊椎骨置于无水乙醇中浸泡 6 h, 并移入 60 °C 烘箱烘干 4 h。最后, 将脊椎骨使用二甲苯透明后, 在解剖镜 (Moticam 2306) 下观察, 并采集图像。

臀鳞 每尾样本取自前往后 14~17 号臀鳞用于年龄鉴定。将臀鳞连带肌肉一同剪下, 于 80 °C 的水中浸泡 3~4 s, 用尖头镊子小心取下对应臀鳞, 放入纯水中浸泡 24 h, 将臀鳞上的残留组织用镊子轻轻刮净后, 置于载玻片上。最后在解剖镜 (Moticam 2306) 下观察, 并采集图像。

鳃盖骨 将鳃盖骨放入沸水中 30 s, 剥离表皮, 剔除附着的肌肉及结缔组织, 再将其放入无水乙醇中浸泡 4~6 h 后, 置于解剖镜 (Moticam 2306) 的透射光下观察, 并采集图像。

1.4 数据分析

年龄鉴定及年轮表示方法 厚唇裸重唇鱼年龄鉴定及年轮表示方法参照殷名称^[28]: 在不

清楚样本大小、性别的情况下对 5 种年龄鉴定材料进行鉴定。按照实际生长周期对年轮进行计数, 同时记录年轮及其外缘新增生的部分。例如第 1 个年轮正好在鳞片边缘形成或即将形成, 记录为 1, 归为 1 龄鱼; 若第 1 轮形成后年轮外缘有新增生的部分, 则在年轮数的右上角加上“+”号, 记录为 1+, 归为 2 龄鱼。每个年龄鉴定材料的年龄由同一观察者进行 2 次独立鉴定, 如果 2 次鉴定结果相同, 则记录为吻合, 并采用这一年龄鉴定结果; 如果有差异, 则记录为不吻合, 并进行第 3 次鉴定, 若第 3 次鉴定结果与前 2 次鉴定结果都不同, 则舍弃这一样本, 否则, 采用第 3 次年龄鉴定结果, 不同次年龄鉴定的时间间隔不少于 4 周^[29]。

年龄鉴定材料差异性分析 采用清晰度评分^[30]、吻合率 (coincidence rate, CR)、平均百分比误差 (the index of average percent error, IAPE)^[31] 和年龄鉴定偏差图^[32] 对年龄鉴定材料的差异进行比较。

清晰度评分 对各年龄鉴定材料年轮清晰度按照 5 个等级进行评分: 1 级, 材料轮纹清晰, 年龄直观; 2 级, 轮纹较为清晰, 年龄辨别度较高; 3 级, 轮纹一般, 经仔细确认后可以辨认; 4 级, 轮纹模糊, 年龄辨别困难; 5 级, 没有轮纹或十分模糊, 无法辨别年龄。

IAPE 采用 IAPE 对年龄鉴定材料进行评估:

$$IAPE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中, N 为进行年龄鉴定的鱼尾数; R 为每尾鱼进行年龄鉴定的次数; X_{ij} 为第 j 尾鱼进行第 i 次年龄鉴定的结果; X_j 为第 j 尾鱼的平均年龄。

数据分析 本研究中, 使用 Motic images Plus 3.0、OLYMPUS cellSens Entry 软件对所采集

图像进行处理, 并进行年龄数据采集。采用直线、指数函数、幂函数和多项式 4 种回归方程拟合微耳石重量与微耳石磨片读数间的关系, 选取相关系数最高的为最佳拟合方程。使用 Microsoft Excel (2019)、SPSS (IBM SPSS Statistics 26.0)、OriginPro (2018) 软件进行数据分析, 数据采用平均值 \pm 标准差 (mean \pm SD) 表示。

2 结果

2.1 年轮特征

微耳石 厚唇裸重唇鱼的微耳石为不规则椭圆形, 前端有一明显凸起即核心区, 从前端到后端逐渐变薄, 整体形状似铲型。在透射光下, 微耳石磨片存在一较浅纵沟, 整体形如凹字, 其上呈现出明暗交替的轮纹, 由核心区向外边缘颜色逐渐变淡。其中, 轮纹在相对薄而长的后区分布宽松, 年轮明显, 易于读数; 但在近核的前区轮纹排列紧密, 中心核区打磨难度较高, 较难辨认首轮, 且边缘部分的年轮时常出现重叠现象, 暗带周围常包含些许较细的次级暗带 (图 2-a)。

脊椎骨 在入射光下观察, 厚唇裸重唇鱼的脊椎骨前后凹面均呈现出明暗交替的同心轮纹, 乳白色的宽带和黯黑色的狭带组成一个生长年带。凹面中心有一小孔, 小孔周围有阴影且轮纹较淡,

对始轮的辨认有一定影响; 凹面表面轮纹清晰, 少部分存在副轮环绕年轮, 但可根据纹带粗细轻易与年轮相区分; 凹面最外缘覆盖一层较厚结缔组织, 难以完全去除, 对末轮的辨认有一定的影响。总体来说, 脊椎骨凹面轮纹清晰可辨, 易于读数 (图 2-b)。

臀鳞 厚唇裸重唇鱼的臀鳞较薄, 在形态上与其他鱼类的鳞片存在较大的差异, 甚至同一尾样本的臀鳞也有着多种不同形态, 如盾形、蚌形、三角形、菱形等不规则形状。鳞焦位于前区, 十分明显, 轮纹环鳞焦向后层层辐射, 伸展至鳞片边缘。轮纹排布较为杂乱, 且除正常的年轮外, 还存在许多副轮。其中, 大部分副轮可以通过其不规则、不完整、不连续及不清晰等特点与年轮区分开; 而少部分副轮与年轮十分相似, 较难区分, 对年龄读数有一定的干扰 (图 2-c~d)。

鳃盖骨 厚唇裸重唇鱼的鳃盖骨是近似梯形的不规则四边形, 基部为较厚且疏松多孔的不透明海绵结构, 有白色放射状线条通向边缘, 边缘透明且光滑。在透射光下, 鳃盖骨呈现出明暗相间的 V 形纹带, 纹带间相互平行。其中, 由于前两轮间距较大, 且内缘部分被凸起的组织所遮盖, 导致较难分辨首轮位置。随着靠近鳃盖骨的后缘, 轮纹间距逐渐变小, 排列变得紧密, 且出

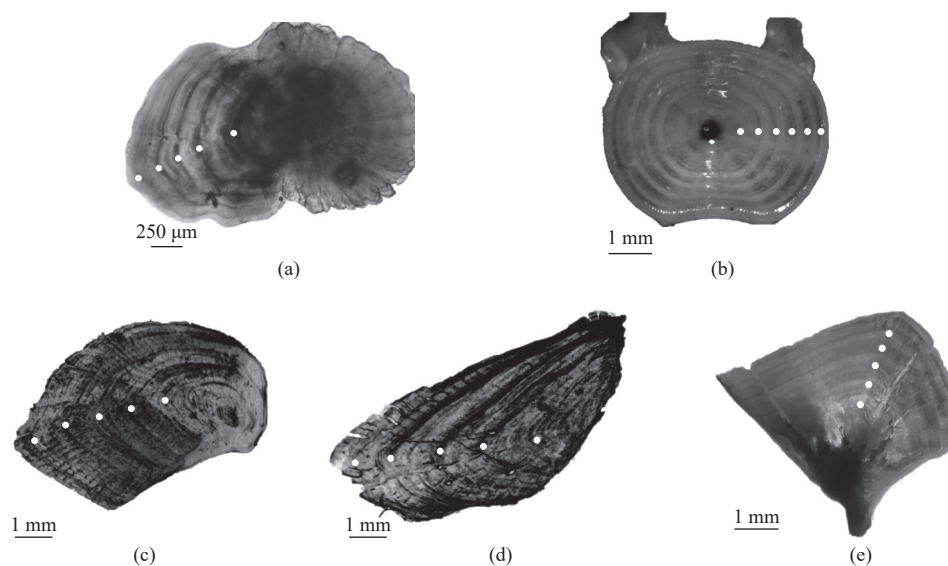


图 2 厚唇裸重唇鱼微耳石 (a)、脊椎骨 (b)、臀鳞 (c、d) 和鳃盖骨 (e) 的年轮特征

圆点示年龄。

Fig. 2 Annuli characteristics of lapillus (a), vertebrae (b), anal scale (c, d), and operculum (e) from *G. pachycheilus*

Dots indicate annual ring.

现层叠的轮纹。总体而言, 厚唇裸重唇鱼的鳃盖骨较大且厚, 经处理后透明度仍然较低, 多数轮纹不清晰, 加之首轮难分辨, 以及后缘轮纹排列紧密且层叠, 进而导致样品年龄易被低估(图 2-e)。

2.2 4 种年龄鉴定材料鉴龄范围比较

本研究共采集厚唇裸重唇鱼 83 尾, 其体长范

围为 176.0~446.0 mm, 体重范围为 65.70~1 159.30 g。其中, 微耳石鉴定年龄范围为 4~11 龄, 脊椎骨鉴定年龄范围为 4~11 龄, 臀鳞鉴定年龄范围为 3~11 龄, 鳃盖骨鉴定年龄范围为 3~9 龄。不同年龄鉴定材料所鉴定的年龄组及其对应样本数和体长信息见表 2。

表 2 厚唇裸重唇鱼 4 种年龄鉴定材料所鉴定的各个年龄组的样本数和体长

Tab. 2 Number of specimens and body length of *G. pachycheilus* corresponding to different age identification materials

年龄 age	微耳石 lapillus		脊椎骨 vertebrae		臀鳞 anal scale		鳃盖骨 operculum	
	数量 no.	mean±SD	数量 no.	mean±SD	数量 no.	mean±SD	数量 no.	mean±SD
3					3	193.3±22.6	3	193.3±21.6
4	9	195.0±13.1	10	193.9±15.6	13	202.0±12.6	15	206.1±15.4
5	27	219.6±18.1	26	220.9±16.9	16	222.2±16.8	30	233.0±43.7
6	24	259.7±24.7	28	261.3±23.3	31	258.4±24.8	23	273.4±44.9
7	15	281.8±20.0	11	285.8±21.6	12	280.9±27.1	4	298.3±31.0
8	3	364.7±7.5	3	364.7±7.5	2	364.5±75.0	1	357.0
9	3	384.0±3.5	3	384.0±3.5	2	376.5±60.3	7	395.3±31.1
10	1	432.0	1	432.0	3	398.7±28.9		
11	1	446.0	1	446.0	1	446.0		
总计 total	83		83		83		83	

2.3 4 种年龄鉴定材料清晰度评分比较

本研究依据年龄鉴定材料清晰度评分标准, 对厚唇裸重唇鱼的 4 种年龄鉴定材料清晰度进行评价, 结果如表 3 所示。其中, 微耳石轮纹的清晰度最高, 被评为 1 级和 2 级的比例在 4 种年龄鉴定材料中最高, 为 89.16%。其次是脊椎骨, 被评为 1 级和 2 级的比例为 83.13%。然而, 臀鳞和鳃盖骨被评为 1 级和 2 级的比例较低, 分别为 68.67% 与 65.06%, 并且存在轮纹模糊的情况, 被评为 4 级的比例分别为 2.41% 与 6.02%。

表 3 厚唇裸重唇鱼不同年龄鉴定材料的清晰度评分

Tab. 3 Distribution of readability scores for different age identification materials of *G. pachycheilus* %

年龄鉴定材料 age identification material	清晰度评分比例 proportion of readability score				
	1级	2级	3级	4级	5级
微耳石 lapillus	49.40	39.76	10.84		
脊椎骨 vertebrae	43.37	39.76	16.87		
臀鳞 anal scale	19.28	49.40	28.92	2.41	
鳃盖骨 operculum	6.02	59.04	28.92	6.02	

2.4 年龄释读一致性分析

同种年龄鉴定材料的释读比较 厚唇裸重唇鱼微耳石磨片、脊椎骨、臀鳞和鳃盖骨由同一观察者 2 次鉴龄间的吻合率和平均百分比误差统计。微耳石磨片 2 次鉴龄结果在各龄组样本中均表现出较高的吻合率, 总体吻合率达到 84.34%, 且总体的平均百分比误差最低, 为 1.38%, 说明微耳石磨片读龄的精度较高。脊椎骨 2 次鉴龄结果总体吻合率低于微耳石磨片, 为 73.49%, 总体的平均百分比误差较低, 为 2.45%。臀鳞 2 次鉴龄结果仅在低龄组 (≤5 龄) 中表现出较高的吻合率, 但总体的吻合率较低, 为 63.86%, 总体平均百分比误差为 3.04%。鳃盖骨 2 次鉴龄结果在各年龄组中吻合率均较低, 总体吻合率在 4 种年龄鉴定材料中最低, 仅为 53.01%, 总体平均百分比误差为 4.53% (表 4)。

不同年龄鉴定材料的释读比较 鉴于微耳石磨片的清晰度评分与年龄读数精度均较高, 本研究以微耳石的年龄读数为基准, 将脊椎骨、臀鳞、鳃盖骨 3 种材料的年龄读数与其进行比较,

表 4 同一观察者 2 次年龄读数的吻合率和平均百分比误差

Tab. 4 Coincidence rate and index of average percent error between two age readings by the same observer %

年龄 age	微耳石 lapillus			脊椎骨 vertebrae			臀鳞 anal scale			鳃盖骨 operculum		
	数量 no.	CR	IAPE	数量 no.	CR	IAPE	数量 no.	CR	IAPE	数量 no.	CR	IAPE
3	3			3				33.33	9.52		66.6	4.76
4	15	77.78	2.47	13	80.00	2.22	10	92.31	0.85	9	46.67	5.93
5	30	88.89	1.09	16	76.92	2.33	26	87.50	1.39	27	55.17	5.04
6	23	83.33	1.46	31	67.86	2.92	28	51.61	3.99	24	54.17	3.99
7	4	80.00	1.54	12	54.54	3.50	11	58.33	3.12	15	75.00	1.92
8	1	100.00	0	2	100.00	0	3	0	6.67	3	100.00	0
9	7	66.67	1.75	2	100.00	0	3	33.33	3.72	3	42.86	3.27
10		100.00	0	3	100.00	0	1	50.00	2.38	1		
11		100.00	0	1	100.00	0	1	100.00	0	1		
总计 total	83	84.34	1.38	83	73.49	2.45	83	63.86	3.04	83	53.01	4.53

注: CR为吻合率, IAPE为平均百分比误差。
Notes: CR is coincidence rate, and IAPE is the index of average percent error.

并制成年龄鉴定偏差图(图 3)。脊椎骨读数与微耳石读数吻合率较高, 为 96.39%, 总体平均百分比误差仅为 0.52% (图 3-a)。臀鳞读数与微耳石读数吻合率为 62.65%, 其中在 4~6 龄时与微耳石读数吻合率较高, 而在 7~11 龄时偏差较大且吻合率较低, 总体平均百分比误差为 5.14% (图 3-b)。鳃盖骨各年龄组读数与微耳石各年龄组读数均有较大偏差, 除 8 龄组外, 其余年龄组读数均偏低, 总体吻合率为 54.22%, 总体平均百分比误差为 8.29% (图 3-c)。

2.5 微耳石重量与年龄间的关系

本研究中厚唇裸重唇鱼微耳石重量 (W_0) 与其年龄 (A) 分布如图 4 所示, 厚唇裸重唇鱼的微耳石重量与微耳石磨片读数间的拟合回归方程, 即直线、指数函数、幂函数和多项式 4 种拟合的关系如表 5 所示。结果显示, 多项式为微耳石重量 (W_0) 与其年龄 (A) 拟合方程中的相关系数最高的方程: $W_0=0.33A^2-1.84A+6.73$ ($R^2=0.8062$) (图 4)。据此推断, 虽然厚唇裸重唇鱼微耳石重量与年龄有一定的相关性, 但依然无法直接利用微耳石重量估算年龄。

3 讨论

鱼类年轮特征研究是鱼类年龄鉴定的前提, 年龄鉴定的准确性将直接关系到鱼类各种生长参数估算的可靠程度, 而这些参数又会对渔业资源

的科学管理和合理利用产生深远影响^[33]。一般而言, 年龄的低估将导致对鱼类生长的估算过快和自然死亡率的估算过高, 因而对产量做出过于乐观的估计, 最终造成渔业资源的过度开发^[13]。就裂腹鱼类而言, 在特定生长环境的影响下, 不同种类、不同阶段个体年龄鉴定材料的年轮特征各不相同, 从而呈现出多样化的特点^[14]。截至目前, 我国已发现裂腹鱼亚科鱼类的种类或亚种约 97 种^[29], 其中有 27 种开展过关于年龄鉴定的研究(表 6), 占总种数的 27.84%。在这些研究中共使用了 9 种年龄鉴定材料, 分别为微耳石、星耳石、矢耳石、脊椎骨、臀鳞、普通鳞、鳃盖骨、鳍条和匙骨, 且上述骨质材料年轮的形成周期均为 1 周年, 如异齿裂腹鱼^[30]、拉萨裸裂尻鱼^[52]、双须叶须鱼^[53]等。本研究鉴于厚唇裸重唇鱼体表裸露, 仅具肩带鳞和臀鳞, 且矢耳石呈针状容易破碎, 故在预实验阶段选择了除普通鳞和矢耳石外的其他 7 种年龄鉴定材料进行比较研究。经初步观察后发现, 厚唇裸重唇鱼背鳍条和匙骨上均未出现轮纹, 且星耳石上轮纹密集复杂, 无法进行计数, 因此本研究最终选用微耳石、脊椎骨、臀鳞和鳃盖骨 4 种钙化组织进行后续的比较研究。

耳石作为鱼类内耳中的钙盐结晶体, 主要作用是平衡和听觉^[54]。自 1899 年 Reibisch 最早在欧洲鳎 (*Pleuronectes platessa*) 耳石上观察到周年性轮纹以来, 至今耳石一直是鉴定鱼类年龄的重要材料之一^[28]。由于耳石具有持续生长和不易被重

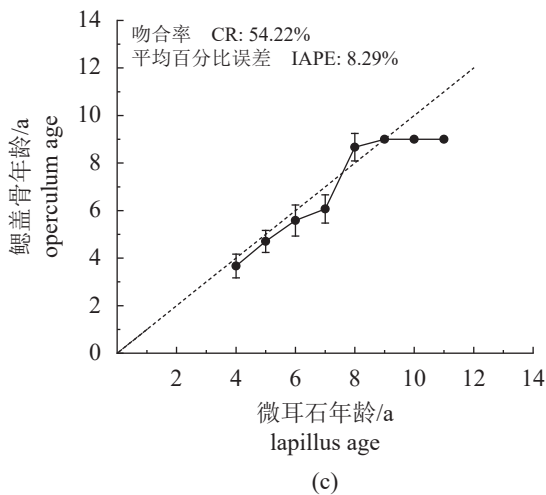
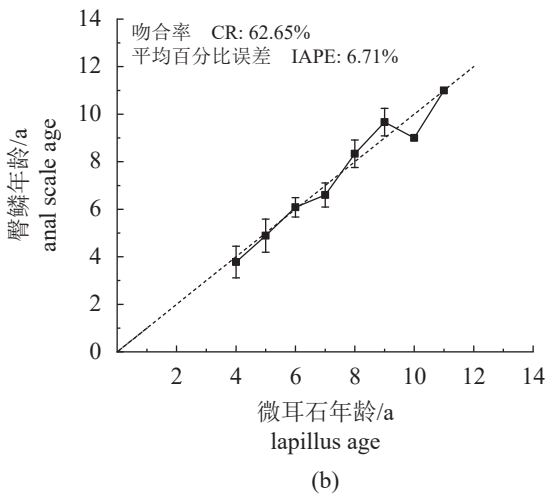
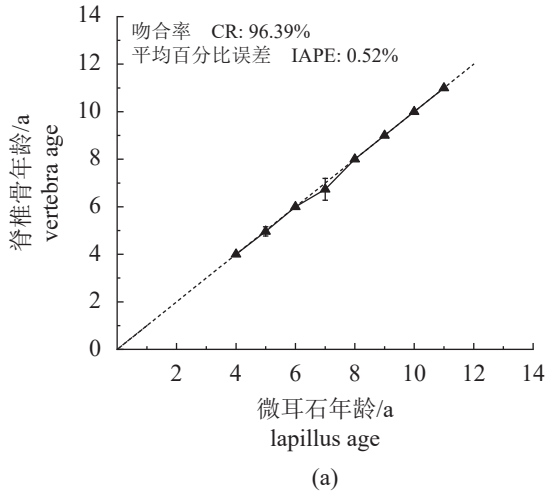


图3 脊椎骨 (a)、臀鳞 (b) 和鳃盖骨 (c) 与微耳石年龄读数对比

1:1 虚线表示鉴定结果完全一致

Fig. 3 Age reading comparison between lapillus and vertebrae (a), anal scale (b), and operculum (c)

1:1 dotted line indicates the identification results are completely consistent.

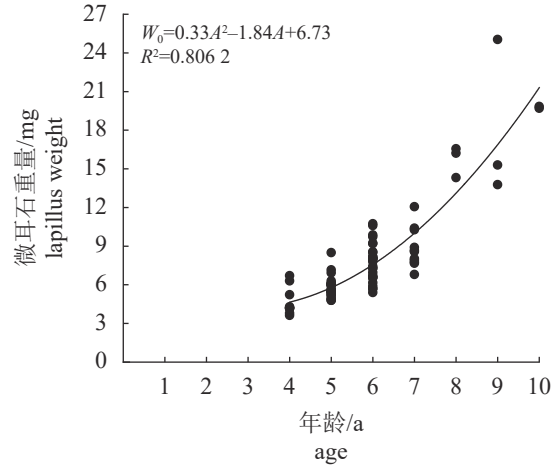


图4 厚唇裸重唇鱼微耳石重量与年龄分布

趋势线表示多项式拟合结果。

Fig. 4 Lapillus weight distribution of *G. pachycheilus* for different age groups

Trendline indicates the polynomial fitting function.

吸收的特点, 因此被认为是比其他的钙化组织更准确、可靠的材料, 进而可以用作比较其他组织年龄鉴定准确性的基准^[54-55]。综合现有研究, 微耳石已在我国的细鳞裂腹鱼^[16]、异齿裂腹鱼^[30]、怒江裂腹鱼^[36]等 21 种裂腹鱼类中进行了比较研究, 且均为最佳年龄鉴定材料 (表 6)。与上述研究结果类似, 鉴于厚唇裸重唇鱼微耳石磨片的清晰度评分最佳, 其上轮纹清晰, 年龄读数精度较高, 2 次读数间吻合率最高, 平均百分比误差最低, 被认为是厚唇裸重唇鱼的最佳年龄鉴定材料, 并可作为其他钙化组织年龄读数的基准。此外, 已有研究表明鱼类耳石重量与年龄之间存在着密切的关系, 分析耳石重量可能成为一种客观的年龄确定方法^[56-59]。本研究发现, 厚唇裸重唇鱼的微耳石重量与年龄读数之间有一定的相关性, 但拟合

表5 厚唇裸重唇鱼微耳石重量与年龄间拟合关系式结果

Tab. 5 Results of the fitting functions between lapillus weight and age of *G. pachycheilus*

拟合方法 fitting methods	拟合关系式 fitting functions	R ²
线性拟合 linear fitting	$W_0 = 2.48A - 6.65$	0.754 7
指数拟合 exponential fitting	$W_0 = 1.59e^{0.264A}$	0.791 5
乘幂拟合 power function fitting	$W_0 = 0.47A^{1.57}$	0.766 3
多项式拟合 polynomial fitting	$W_0 = 0.33A^2 - 1.84A + 6.73$	0.806 2

注: W_0 为微耳石重量, A 为年龄。
Notes: W_0 is lapillus weight, and A is age.

表 6 裂腹鱼亚科鱼类年龄鉴定材料及比较方法研究的文献综述

Tab. 6 Literature review of studies on age identification materials and comparison methods for Schizothoracinae fishes

种名 species name	年龄鉴定材料 age identification materials									比较方法 comparison methods	文献来源 references
	耳石 otolith			脊椎骨 vertebrae	鳞片 scale		鳃盖骨 operculum	鳍条 fin ray	匙骨 cleithrum		
	微耳石 lapillus	星耳石 asteriscus	矢耳石 sagitta		臀鳞 anal scale	普通鳞 general scale					
异齿裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>	√ ⁺	—	—	√(<21龄)	—	—	×	—	—	I, II, III	[30]
齐口裂腹鱼 <i>S. prenanti</i>	—	—	—	—	√	—	—	—	—	V	[34]
中华裂腹鱼 <i>S. sinensis</i>	—	—	—	—	√ ⁺	—	—	—	—	V	[35]
细鳞裂腹鱼 <i>S. chongi</i>	√ ⁺	—	—	—	√(≤3龄)	—	—	—	—	I, V	[16]
怒江裂腹鱼 <i>S. nukiangensis</i>	√ ⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	V	[36]
弧唇裂腹鱼 <i>S. curvilabiatu</i>	√ ⁺	—	—	√	—	—	×	—	—	I, III, IV	[37]
光唇裂腹鱼 <i>S. lissolabiatu</i>	—	—	—	—	√ ⁺	√	√	×	√	I	[38]
伊犁裂腹鱼 <i>S. (Racoma) pseudaksaiensis</i>	√ ⁺	×	×	√	√	×	—	√	—	II	[12]
巨须裂腹鱼 <i>S. macropogon</i>	√ ⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	V	[39]
四川裂腹鱼 <i>S. kozlovi</i>	√ ⁺	—	—	√	√	—	×	—	—	I, II	[40]
拉萨裂腹鱼 <i>S. (Racoma) waltoni</i>	√ ⁺	—	—	√	×	—	×	—	—	II, III	[11]
全唇裂腹鱼 <i>S. (Racoma) labiata</i>	√ ⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	V	[41]
双须叶须鱼 <i>Ptychobarbus dipogon</i>	√ ⁺	√(<23龄)	×	√(<23龄)	×	×	×	—	—	I, II, III	[10]
裸腹叶须鱼 <i>P. kaznakovi</i>	√ ⁺	—	—	√(<8龄)	×	—	×	—	—	II, IV	[42]
新疆裸重唇鱼 <i>G. dybowskii</i>	√ ⁺	×	×	√	—	—	×	—	—	II, III	[43]
厚唇裸重唇鱼 <i>G. pachycheilus</i>	√ ⁺	×	—	√	√(≤5龄)	—	×	×	×	I, II, IV	本研究
高原裸鲤 <i>G. waddelli</i>	√ ⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	V	[44]
硬刺松潘裸鲤 <i>G. potanini firmispinatus</i>	√ ⁺	—	—	√(<8龄)	—	—	×	—	—	I, II, III	[45]
兰格湖裸鲤 <i>G. chui</i>	√ ⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	V	[46]
花斑裸鲤 <i>G. eckloni</i>	√ ⁺	—	—	—	√(≤6龄)	—	—	√(≤6龄)	—	II, III	[15]
青海湖裸鲤 <i>G. przewalskii</i>	√ ⁺	×	—	—	√(≤8龄)	—	—	√(≤8龄)	—	II	[14]
错鄂裸鲤 <i>G. cuoensis</i>	—	—	√ ⁺	—	√(<12龄)	—	—	√(<7龄)	—	I, II	[47]
色林错裸鲤 <i>G. selincuoensis</i>	—	—	√ ⁺	—	√(4-8龄)	—	—	√(<8龄)	—	I, IV	[13]
尖裸鲤 <i>Oxygymnocypris stewarti</i>	√ ⁺	—	—	×	—	—	—	—	—	I, IV	[48]
高原裸裂尻鱼 <i>Schizopygopsis stoliczkai stoliczkai</i>	—	√	—	—	√	—	—	—	—	II	[49]
软刺裸裂尻鱼 <i>S. malacanthus</i>	√ ⁺	—	—	×	√(<10龄)	—	—	√(<10龄)	—	I	[50]
大渡软刺裸裂尻鱼 <i>S. malacanthus chengi</i>	√ ⁺	—	—	×	—	—	—	—	—	II	[51]
拉萨裸裂尻鱼 <i>S. younghusbandi</i>	√ ⁺	—	—	√	—	—	×	—	—	II, IV	[52]

注: √⁺ 最佳年龄鉴定材料, √ 能够使用的年龄鉴定材料, × 不适合的年龄鉴定材料, — 未做研究。I. 主观判断(包括清晰度评分、可读性分析等), II. 吻合率、平均百分比误差比较, III. 差异性分析, IV. 年龄读数偏差图, V. 相关文献推断。
 Notes: √⁺ the optimal age identification material, √ the applicable age identification material, × the unsuitable age identification material, — no study. I. subjective judgment (including readability score, readability analysis, etc.); II. coincidence rate and index of average percent error; III. difference analysis; IV. age readings deviation diagram; V. inferences from the related literatures.

关系式的相关系数均较低 ($R^2 \leq 0.8062$), 因此不能直接利用微耳石重量来估算厚唇裸重唇鱼的年龄。

通常鱼类的脊椎骨上都存在年轮, 椎体前后凹面上均显示出黑白交替的同心环纹, 因此脊椎骨常被用作无鳞鱼类的年龄鉴定材料^[60]。自 1977 年 Frolkina 证明鱼类的脊椎骨随着年龄同步增长之后, 脊椎骨便在鱼类年龄鉴定中得到广泛应用^[54]。迄今, 共对 13 种裂腹鱼类的脊椎骨进行了年龄鉴定研究, 研究表明除尖裸鲤^[48]、软刺裸裂尻鱼^[50]、大渡软刺裸裂尻鱼^[51]外, 脊椎骨能够作为拉萨裂腹鱼^[11]、伊犁裂腹鱼^[12]、四川裂腹鱼^[40]等其他 10 种裂腹鱼类的年龄鉴定材料(表 6)。本研究中发现, 厚唇裸重唇鱼脊椎骨的轮纹清晰度较高, 易于读数, 2 次读数间吻合率较高, 平均百分比误差略高于微耳石, 且与微耳石的年龄鉴定结果吻合率高达 96.39%。因此, 厚唇裸重唇鱼的脊椎骨可作为微耳石读数的佐证材料和年龄鉴定的辅助材料。

通常来说, 鳞片因其取材、处理和观察都比较方便而被广泛应用于鱼类的年龄鉴定工作^[61]。在 21 世纪之前的裂腹鱼类生长研究中, 常将臀鳞作为主要的年龄鉴定材料^[35, 62-64]。然而, 进入 21 世纪后, 部分研究发现由于裂腹鱼类常年生活的高寒地区, 生长速率缓慢, 鱼类从幼体到成体的生长过程中均会出现延迟现象, 鳞片生长不能与孵化时间同步, 且在高龄个体中可能还存在重吸收现象^[11-12, 40, 47]。此外, 由于裂腹鱼类特有的繁殖习性, 性成熟个体的臀鳞通常在繁殖过程中受到严重磨损, 且容易脱落^[10, 14, 65]。由于受到上述多种因素的影响, 在鉴定裂腹鱼类年龄时, 尤其是对于高龄鱼, 臀鳞的鉴定准确性较差^[14]。截至目前, 共有 15 种裂腹鱼类在年龄鉴定研究中加入了臀鳞, 其中臀鳞能够作为年龄鉴定材料的共有 11 种(表 6)。然而需要指出的是, 在这些研究中臀鳞大多存在一定的局限性, 即仅适用于中、低龄样本, 例如青海湖裸鲤^[14]、花斑裸鲤^[15]、细鳞裂腹鱼^[16]等。本研究同样发现, 对于厚唇裸重唇鱼低龄个体 (≤ 5 龄) 而言, 臀鳞轮纹较清晰, 能够读数, 2 次年龄鉴定结果吻合率较高, 且与微耳石的年龄鉴定结果吻合率较高。然而, 对于高龄个体 (> 5 龄) 而言, 臀鳞轮纹杂乱, 副轮较多且难以分辨年轮, 鳞片普遍残缺, 进而导致 2 次年龄鉴定结果吻合率较低, 与微耳石磨片的年龄鉴定结果相比吻合率较低。因此, 本研究结果与其他裂腹

鱼类相关研究结果类似, 即厚唇裸重唇鱼的臀鳞仅适用于低龄个体 (≤ 5 龄) 的年龄鉴定, 而对于高龄个体 (> 5 龄), 臀鳞并不是其可靠的年龄鉴定材料。

选择利用鳃盖骨对年龄进行鉴定研究的裂腹鱼类已有 10 种, 其中仅光唇裂腹鱼^[38]的鳃盖骨被认为能够用于年龄鉴定(表 6)。本研究结果显示, 厚唇裸重唇鱼鳃盖骨上轮纹较淡, 基部被疏松多孔的不透明海绵结构所覆盖, 较难辨认首轮, 靠近外缘的轮纹过于密集, 不易读数, 且整体的清晰度评分在 4 种年龄鉴定材料中最低。此外, 鳃盖骨 2 次读数间的吻合率远低于其他 3 种年龄鉴定材料, 且与微耳石鉴龄结果的吻合率最低。因此, 与微耳石、脊椎骨和臀鳞相比, 鳃盖骨较不适合作为厚唇裸重唇鱼的年龄鉴定材料。

综上所述, 与脊椎骨、臀鳞、鳃盖骨相比, 微耳石作为厚唇裸重唇鱼的年龄鉴定材料的鉴龄效果最好。尽管脊椎骨的年龄鉴定结果在高龄个体中与微耳石相比有所偏差, 但二者相互参照能使厚唇裸重唇鱼的年龄鉴定结果更加准确。臀鳞仅可用于厚唇裸重唇鱼低龄个体的年龄鉴定, 而对于高龄个体鉴龄效果较差。鳃盖骨较不适合作为厚唇裸重唇鱼的年龄鉴定材料。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 武云飞, 吴翠珍. 青藏高原鱼类 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1992.
Wu Y F, Wu C Z. The fishes of the Qinghai-Xizang Plateau [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1992 (in Chinese).
- [2] 李柯懋, 高桂香. 厚唇裸重唇鱼生物学特性及保护建议 [J]. 河北渔业, 2012(6): 18-19, 25.
Li K M, Gao G X. *Gymnodiptychus pachycheilus* Herzenstein in Yellow River biological characteristics and protection suggestions [J]. Hebei Fisheries, 2012(6): 18-19, 25 (in Chinese).
- [3] 王宏, 王庆龙. 厚唇裸重唇鱼人工繁殖与苗种培育技术 [J]. 中国水产, 2021(6): 66-68.
Wang H, Wang Q L. S Artificial breeding and larval rearing technique of *Gymnodiptychus pachycheilus* [J]. China Fisheries, 2021(6): 66-68 (in Chinese).
- [4] 安宝晟, 程国栋. 西藏生态足迹与承载力动态分析 [J].

- 生态学报, 2014, 34(4): 1002-1009.
- An B S, Cheng G D. Dynamic analysis of the ecological footprint and carrying capacity of Tibet[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(4): 1002-1009 (in Chinese).
- [5] 刘乐乐, 刘海平, 王纤纤, 等. 西藏双须叶须鱼年龄与生长特点研究[J]. *生物资源*, 2020, 42(6): 617-628.
- Liu L L, Liu H P, Wang Q Q, *et al.* Age and growth characteristics of *Ptychobarbus dipogon* in Tibet[J]. *Biotic Resources*, 2020, 42(6): 617-628 (in Chinese).
- [6] 苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等. 基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构[J]. *生态学报*, 2012, 32(13): 4191-4198.
- Su J H, Zhang Y P, Lou Z Y, *et al.* Genetic structure of *Gymnodiptychus pachycheilus* from the upper reaches of the Yellow River as inferred from *mtDNA* control region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(13): 4191-4198 (in Chinese).
- [7] 姚昆, 张存杰, 何磊, 等. 雅砻江中上游流域生态环境脆弱性动态评价及预测[J]. *国土资源遥感*, 2020, 32(4): 199-208.
- Yao K, Zhang C J, He L, *et al.* Dynamic evaluation and prediction of ecological environment vulnerability in the middle-upper reaches of the Yalong River[J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2020, 32(4): 199-208 (in Chinese).
- [8] 杜岩岩, 史小宁, 宋福俊, 等. 黄河上游甘肃段厚唇裸重唇鱼资源分布现状调查[J]. *甘肃畜牧兽医*, 2016, 46(15): 124-126.
- Du Y Y, Shi X N, Song F J, *et al.* Investigation on current distribution of *Gymnodiptychus pachycheilus* resources in the Gansu section of upper Yellow River[J]. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2016, 46(15): 124-126 (in Chinese).
- [9] 中华人民共和国中央人民政府. 国家重点保护野生动物名录 [EB/OL].(2021-02-09)[2024-3-28]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/content_5586227.htm.
- The Central People's Government of the People's Republic of China. List of national protected animal species [EB/OL].(2021-02-09)[2024-3-28]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/content_5586227.htm (in Chinese).
- [10] 刘艳超, 刘书蕴, 刘海平. 西藏双须叶须鱼八种年龄鉴定材料的比较研究[J]. *水生生物学报*, 2019, 43(3): 579-588.
- Liu Y C, Liu S Y, Liu H P. Values of eight structures as age determination of *Ptychobarbus dipogon*, Tibet autonomous region[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(3): 579-588 (in Chinese).
- [11] 郝汉舟. 拉萨裂腹鱼的年龄和生长研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- Hao H Z. Studies on age and growth of *Schizothorax waltoni* Regan[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005 (in Chinese).
- [12] 蔡林钢, 牛建功, 吐尔逊, 等. 伊犁裂腹鱼不同年龄鉴定材料的年轮特征比较[J]. *水生态学杂志*, 2011, 32(3): 78-81.
- Cai L G, Niu J G, Tu E X, *et al.* Annuli characteristics of the different ageing materials of *Schizothorax (Racoma) pseudaksaiensis* (Herzenstein)[J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(3): 78-81 (in Chinese).
- [13] 陈毅峰, 何德奎, 陈宜瑜. 色林错裸鲤的年龄鉴定[J]. *动物学报*, 2002, 48(4): 527-533.
- Chen Y F, He D K, Chen Y Y. Age discrimination of selincuo schizothoracini (*Gymnocypris selincuoensis*) in selincuo lake, Tibet plateau[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2002, 48(4): 527-533 (in Chinese).
- [14] 熊飞, 陈大庆, 刘绍平, 等. 青海湖裸鲤不同年龄鉴定材料的年轮特征[J]. *水生生物学报*, 2006(2): 185-191.
- Xiong F, Chen D Q, Liu S P, *et al.* Annuli characteristics of the different ageing materials of *Gymnocypris przewalskii przewalskii* (Kessler)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006(2): 185-191 (in Chinese).
- [15] 魏朝军, 申志新, 贾银涛, 等. 花斑裸鲤年龄鉴定材料的比较与年龄判别[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(9): 2537-2541.
- Wei C J, Shen Z X, Jia Y T, *et al.* Comparison of aging methods and discrimination analysis on age classification for *Gymnocypris eckloni*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(9): 2537-2541 (in Chinese).
- [16] 朱其广, 唐会元, 林晖, 等. 金沙江中下游细鳞裂腹鱼的年龄生长及种群动态[J]. *水生态学杂志*, 2021, 42(2): 56-63.
- Zhu Q G, Tang H Y, Lin H, *et al.* Age structure, growth characteristics and population dynamic of *Schizothorax chongi* in middle and lower Jinsha River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2021, 42(2): 56-63 (in Chinese).
- [17] 吴金明, 张富铁, 刘飞, 等. 赤水河大鳍鲃的年龄与生长[J]. *淡水渔业*, 2011, 41(4): 21-25,31.
- Wu J M, Zhang F T, Liu F, *et al.* Age and growth of

- Mystus macropterus* in the Chishui River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2011, 41(4): 21-25,31 (in Chinese).
- [18] 沈永富, 吴峰, 戴小杰, 等. 中东太平洋长鳍真鲨年龄与生长[J]. *中国水产科学*, 2021, 28(8): 1030-1040.
- Shen Y F, Wu F, Dai X J, *et al.* Age and growth of oceanic whitetip shark, *Carcharhinus longimanus*, from the Central and Eastern Pacific[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(8): 1030-1040 (in Chinese).
- [19] 黄静, 黄自豪, 危起伟, 等. 大鳍异鲛年龄与生长[J]. *水生生物学报*, 2018, 42(1): 138-147.
- Huang J, Huang Z H, Wei Q W, *et al.* Age and growth of *Creteuchiloglanis macropterus*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(1): 138-147 (in Chinese).
- [20] 刘飞, 吴金明, 王剑伟. 高体近红鲌的生长与繁殖[J]. *水生生物学报*, 2011, 35(4): 586-595.
- Liu F, Wu J M, Wang J W. Growth and reproductive characteristics of *Ancherythroculter kurematsui* Kimura[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(4): 586-595 (in Chinese).
- [21] 薛超, 危起伟, 孙庆亮, 等. 秦岭细鳞鲑的年龄与生长[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(4): 743-749.
- Xue C, Wei Q W, Sun Q L, *et al.* Age and growth of *Brachymystax lenok tsinlingensis*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(4): 743-749 (in Chinese).
- [22] 王炬光, 沈建忠, 李鸿, 等. 乌伦古湖白斑狗鱼六种年龄鉴定材料的比较研究[J]. *淡水渔业*, 2011, 41(6): 30-36.
- Wang J G, Shen J J, Li H, *et al.* Comparative studies on six structures for age determination of *Esox lucius* in Ulungur Lake Xinjiang, China[J]. *Freshwater Fisheries*, 2011, 41(6): 30-36 (in Chinese).
- [23] Beamish R J, McFarlane G A. The forgotten requirement for age validation in fisheries biology[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1983, 112(6): 735-743.
- [24] Ihde T F, Chittenden M E Jr. Comparison of calcified structures for aging spotted seatrout[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2002, 131(4): 634-642.
- [25] 周剑, 赵刚, 赖见生. 厚唇裸重唇鱼舌状缘虫病的防治[J]. *科学养鱼*, 2010(11): 60.
- Zhou J, Zhao G, Lai J S. Control of lingual intestinalis in *Gymnodiptychus pachycheilus*[J]. *Scientific Fish Farming*, 2010(11): 60 (in Chinese).
- [26] 张艳萍, 杜岩岩, 虎永彪, 等. 厚唇裸重唇鱼渭河亚种分类地位的探讨[J]. *动物分类学报*, 2013, 38(4): 705-713.
- Zhang Y P, Du Y Y, Hu Y B, *et al.* Discussion on taxonomic status of *Gymnodiptychus pachycheilus weiheensis* Wang *et* Song[J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2013, 38(4): 705-713 (in Chinese).
- [27] 张艳萍, 王太, 焦文龙, 等. 厚唇裸重唇鱼胚胎发育的形态学观察[J]. *四川动物*, 2013, 32(3): 389-392.
- Zhang Y P, Wang T, Jiao W L, *et al.* Morphology observation of the embryonic development of *Gymnodiptychus pachycheilus*[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2013, 32(3): 389-392 (in Chinese).
- [28] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- Yin M C. Ecology of fishes[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese).
- [29] 谢从新, 霍斌, 魏开建, 等. 雅鲁藏布江中游裂腹鱼类生物学与资源保护[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- Xie C X, Huo B, Wei K J, *et al.* Biology and resource conservation of Schizothoracinae fishes in the middle reaches of the Yarlung Zangbo River[M]. Beijing: Science Press, 2019 (in Chinese).
- [30] 马宝珊. 异齿裂腹鱼个体生物学和种群动态研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- Ma B S. Study on the biology and population dynamics of *Schizothorax oconnori*[D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2011 (in Chinese).
- [31] Beamish R J, Fournier D A. A method for comparing the precision of a set of age determinations[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1981, 38(8): 982-983.
- [32] Campana S E, Annand M C, Mcmillan J I. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1995, 124(1): 131-138.
- [33] 华元渝, 石黎军, 李海燕, 等. 暗纹东方鲀年龄鉴定的研究[J]. *水生生物学报*, 2005, 29(3): 279-284.
- Hua Y Y, Shi L J, Li H Y, *et al.* Age discrimination of *Takifugu obscurus* abe[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, 29(3): 279-284 (in Chinese).
- [34] 段鹏翔. 金沙江下游齐口裂腹鱼种群动态研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- Duan P X. Study on the population dynamics of *Schizothorax prenanti* in the lower reaches of Jinsha River[D].

- Changsha: Hunan Agricultural University, 2015 (in Chinese).
- [35] 冷永智, 周祖清, 黄德祥. 中华裂腹鱼的生物学资料[J]. 动物学杂志, 1984(6): 45-47.
- Leng Y Z, Zhou Z Q, Huang D X. Biological data of *Schizothorax sinensis*[J]. Chinese Journal of Zoology, 1984(6): 45-47 (in Chinese).
- [36] 丁刘勇. 怒江裂腹鱼耳石形态及其生长特征沿河流纵向梯度的变化 [D]. 昆明: 云南大学, 2019.
- Ding L Y. Variations in otolith morphology and growth characteristics of *Schizothorax nukiangensis* along riverine longitudinal gradients[D]. Kunming: Yunnan University, 2019 (in Chinese).
- [37] 王健, 张富斌, 胡华明, 等. 雅鲁藏布江下游弧唇裂腹鱼的年龄结构与生长特性 [J]. 水生生物学报, 2022, 46(12): 1770-1779.
- Wang J, Zhang F B, Hu H M, et al. Characteristics of age and growth of *Schizothorax curvilabiatus* in the lower reaches of the Yarlung Zangbo River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2022, 46(12): 1770-1779 (in Chinese).
- [38] 肖海, 代应贵. 北盘江光唇裂腹鱼年龄结构、生长特征和生活史类型[J]. 生态学杂志, 2011, 30(3): 539-546.
- Xiao H, Dai Y G. Age structure, growth and life-history pattern of *Schizothorax lissolabiatus* in Beipan River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(3): 539-546 (in Chinese).
- [39] 刘洁雅. 西藏巨须裂腹鱼个体生物学和种群动态研究 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2016.
- Liu J Y. Study on biology and population dynamics of *Schizothorax macropogon* in the Yarlung Tsangpo River[D]. Alar: Tarim University, 2016 (in Chinese).
- [40] 李忠利, 胡思玉, 陈永祥, 等. 乌江上游四川裂腹鱼的年龄结构与生长特性[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(2): 75-80.
- Li Z L, Hu S Y, Chen Y X, et al. Age structure and growth characteristics of *Schizothorax kozlori* in the upper Wujiang River[J]. Journal of Hydroecology, 2015, 36(2): 75-80 (in Chinese).
- [41] 龚君华, 王继隆, 李雷, 等. 西藏布裙湖全唇裂腹鱼年龄与生长的初步研究[J]. 淡水渔业, 2017, 47(6): 26-31.
- Gong J H, Wang J L, Li L, et al. Preliminary study on age and growth of *Schizothorax integrilabiatus* in the Buqun Lake, Tibet[J]. Freshwater Fisheries, 2017, 47(6): 26-31 (in Chinese).
- [42] 王宇峰. 金沙江上游裸腹叶须鱼年龄与生长的研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2014.
- Wang Y F. Age and Growth of *Ptychobarbus kaznakovi* Nikolsky in the upper reaches of the Chin-sha River[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2014 (in Chinese).
- [43] 牛玉娟. 伊犁河新疆裸重唇鱼个体生物学研究 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2015.
- Niu Y J. Study on the individual biology of *Gymnodiptychus dybowskii* Kessler in the Ili River[D]. Alar: Tarim University, 2015 (in Chinese).
- [44] 谭博真, 杨学芬, 杨瑞斌. 西藏哲古错高原裸鲤年龄结构与生长特性[J]. 中国水产科学, 2020, 27(8): 879-885.
- Tan B Z, Yang X F, Yang R B. Age structure and growth characteristics of *Gymnocypris waddelli* in the Zhegu Lake, Tibet[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(8): 879-885 (in Chinese).
- [45] 聂媛媛. 安宁河硬刺松潘裸鲤年龄、生长与繁殖特性研究 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2017.
- Nie Y Y. Studies on age, growth and reproductive biology of *Gymnocypris potanini firmispinatus* Wu et Wu in the Anning River[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2017 (in Chinese).
- [46] 刘飞, 牟振波, 张驰, 等. 西藏浪错兰格湖裸鲤的年龄与生长[J]. 四川动物, 2019, 38(4): 425-432.
- Liu F, Mou Z B, Zhang C, et al. Age and growth of *Gymnocypris chui* in the Lang Tso, Tibet[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2019, 38(4): 425-432 (in Chinese).
- [47] 杨军山, 陈毅峰, 何德奎, 等. 错鄂裸鲤年轮与生长特征的探讨[J]. 水生生物学报, 2002, 26(4): 378-387.
- Yang J S, Chen Y F, He D K, et al. Studies on age determination and growth characteristics of *Gymnocypris cuoensis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(4): 378-387 (in Chinese).
- [48] 霍斌. 尖裸鲤个体生物学和种群动态学研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- Huo B. Study on the biology and population dynamics of *Oxygymnocypris stewartii*[D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2014 (in Chinese).
- [49] 万法江. 狮泉河水生生物资源和高原裸裂尻鱼的生物学研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.
- Wan F J. Aquatic biotic resources and biology of *Schizopygopsis stoliczkai stoliczkai* steindachner in Shiquan

- River[D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2004 (in Chinese).
- [50] 沈丹舟, 何春林, 宋昭彬. 软刺裸裂尻鱼的年龄鉴定[J]. 四川动物, 2007, 26(1): 124-125.
- Shen D Z, He C L, Song Z B. Age determination of weakspine schizothoracin (*Schizopygopsis malacanthus*)[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2007, 26(1): 124-125 (in Chinese).
- [51] 胡华锐, 张家波, 常毅. 绰斯甲河大渡裸裂尻鱼的年龄与生长特性研究[J]. 淡水渔业, 2012, 42(6): 78-81.
- Hu H R, Zhang J B, Chang Y. Age and growth characteristics of *Schizopygopsis malacanthus chengi* in the Chuosijia River[J]. Freshwater Fisheries, 2012, 42(6): 78-81 (in Chinese).
- [52] 段友健. 拉萨裸裂尻鱼个体生物学和种群动态研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- Duan Y J. Study on the biology and population dynamics of *Schizopygopsis younghusbandi*[D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2015 (in Chinese).
- [53] 杨鑫. 雅鲁藏布江双须叶须鱼年龄生长、食性和种群动态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- Yang X. Study on age, growth, feeding habits and population dynamics of *Ptychobarbus dipogon* in the Yarlung Tsangpo River[D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2015 (in Chinese).
- [54] 谢从新. 鱼类学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- Xie C X. Ichthyology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010 (in Chinese).
- [55] 张治国, 王卫民. 鱼类耳石研究综述[J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(4): 77-83.
- Zhang Z G, Wang W M. A review of fish otolith studies[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2001, 21(4): 77-83 (in Chinese).
- [56] Worthington D O, Doherty P J, Fowler A J. Variation in the relationship between otolith weight and age: implications for the estimation of age of two tropical damselfish (*Pomacentrus moluccensis* and *P. wardi*)[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, 52(2): 233-242.
- [57] Labropoulou M, Papaconstantinou C. Comparison of otolith growth and somatic growth in two macrourid fishes[J]. *Fisheries Research*, 2000, 46(1-3): 177-188.
- [58] 沈建忠, 曹文宣, 崔奕波, 等. 鳔耳石重量与年龄的关系及其在年龄鉴定中的作用[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 662-668.
- Shen J Z, Cao W X, Cui Y B, *et al.* The relationship between otolith-weight and age with reference to its use in age determination for *Carassius auratus*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 662-668 (in Chinese).
- [59] Pacheco C, Bustamante C, Araya M. Mass-effect: understanding the relationship between age and otolith weight in fishes[J]. *Fish and Fisheries*, 2021, 22(3): 623-633.
- [60] 朱国平, 魏联. 南极鱼类年龄与生长研究进展[J]. 水产学报, 2017, 41(10): 1638-1647.
- Zhu G P, Wei L. Age and growth of Antarctic fish species: a review[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(10): 1638-1647 (in Chinese).
- [61] 张学健, 程家骅. 鱼类年龄鉴定研究概况[J]. 海洋渔业, 2009, 31(1): 92-99.
- Zhang X J, Cheng J H. Survey on study of the fish age determination[J]. *Marine Fisheries*, 2009, 31(1): 92-99 (in Chinese).
- [62] 青海省生物研究所. 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.
- Qinghai Institute of Biology. Fish fauna in Qinghai Lake area and biology of *Gymnocypris selincuoensis*[M]. Beijing: Science Press, 1975 (in Chinese).
- [63] 马宝珊, 谢从新, 霍斌, 等. 裂腹鱼类生物学研究进展[J]. 江西水产科技, 2011(4): 36-40.
- Ma B S, Xie C X, Huo B, *et al.* Biology of schizothoracinae: A review[J]. *Jiangxi Fishery Science and Technology*, 2011(4): 36-40 (in Chinese).
- [64] 张武学, 杨长锁, 庞卫东, 等. 青海湖裸鲤年龄与生长的研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 1993(6): 18-21.
- Zhang W X, Yang C S, Pang W D, *et al.* Age and growth of *Gymnocypris przewalskii* in Qinghai Lake[J]. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 1993(6): 18-21 (in Chinese).
- [65] 朱秀芳, 陈毅峰. 巨须裂腹鱼年龄与生长的初步研究[J]. 动物学杂志, 2009, 44(3): 76-82.
- Zhu X F, Chen Y F. Preliminary study on the age and growth characteristics of *Schizothorax macropogon*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2009, 44(3): 76-82 (in Chinese).

Comparative studies on age identification materials for *Gymnodiptychus pachycheilus* from the middle reaches of Yalong River

WAN Zhuokun¹, GAN Weixiong², ZHAO Chunxian¹, ZENG Rukui², DING Yuwei¹,
LI Tiancai², FENG Xue¹, BAI Yunpeng¹, FU Mei¹, YAO Weizhi^{1*}, LÜ Hongjian^{1*}

(1. Research Center for Aquatic Biodiversity Conservation in the Upper Reaches of Yangtze River,
Research Center of Fishery Resources and Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,

College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Yalong River Hydropower Development Company, Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract: *Gymnodiptychus pachycheilus* is an endemic schizothoracinae fish in China, which is mainly distributed in the upper reaches of the Yellow River and the middle and upper reaches of Yalong River (tributary of the Jinsha River). In recent years, the wild resources of *G. pachycheilus* have declined seriously, and it has been listed as a second-class state-protected animal of China since 2021. In order to determine the suitable age identification materials for *G. pachycheilus*, we studied seven age identification materials of *G. pachycheilus* (including lapillus, asteriscus, vertebrae, anal scale, operculum, dorsal fin spine, and cleithrum) by using 83 samples from the middle reaches of Yalong River in October-November 2020. Preliminary observations showed that there was no obvious characteristics of annual rings on the dorsal fin spine and cleithrum, and the rings on asteriscus were too dense and complex to be counted. Thus, it was concluded that dorsal fin spine, cleithrum, and asteriscus are not suitable age identification materials for *G. pachycheilus*. Moreover, the lapillus proved the optimal age identification material for *G. pachycheilus*, which had the highest clarity, as well as the highest coincidence rate (CR: 84.34%) and the lowest index of average percent error (IAPE: 1.38%) between two age readings by the same observer. However, the weight of lapillus was not suitable for age identification of *G. pachycheilus*. Due to the similar age readings by the vertebrae and lapillus (CR: 96.39%, IAPE: 0.52%), the complementary readings of these two materials could make the age identification results of *G. pachycheilus* more accurate. In addition, the anal scale was only suitable for the age identification of low-aged *G. pachycheilus* (aged ≤ 5 years), and the operculum was unsuitable for age identification of *G. pachycheilus*. Our results have filled the research gap concerning age identification of *G. pachycheilus*, and provided applicable age identification materials for the basic biological studies on growth, feeding, and reproductive characteristics of *G. pachycheilus*.

Key words: *Gymnodiptychus pachycheilus*; age identification; lapillus; vertebrae; anal scale; middle reaches of Yalong River

Corresponding authors: YAO Weizhi. E-mail: yaowz@swu.edu.cn;

LÜ Hongjian. E-mail: hongjianlv@swu.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31802296); Yalong River Hydropower Development Company Ltd. Research Project (YLGZ-GZA-ZZ2020232); Fishery Administration Supervision Office of Yangtze River Basin, Ministry of Agriculture and Rural Affairs Research Project (171821301354051042, 17200302)