

长江流域泥鳅与大鳞副泥鳅种质资源调查与研究

仲 嘉¹, 易少奎¹, 于永耀¹, 黄松钱¹, 沈宇东¹, 郭青松², 王卫民^{1*}

(1. 华中农业大学水产学院, 农业动物遗传育种与繁育教育部重点实验室,
农业部淡水生物繁育重点实验室, 湖北 武汉 430070;
2. 武汉市江夏区水产局, 湖北 武汉 430200)

摘要: 对长江流域泥鳅和大鳞副泥鳅野生群体进行了系统资源调查, 结果显示, 二倍体泥鳅(2n)与多倍体泥鳅(3n, 4n, 5n)在长江流域均有分布, 其中二倍体泥鳅数目占有绝对优势, 少量多倍体泥鳅集中分布于长江流域中游地区及若干湖泊。此外, 显著性分析表明, 泥鳅和大鳞副泥鳅的雌性个体都显著大于雄性个体, 两物种间个体大小无显著性差异。二倍体泥鳅的体长与体质量明显小于三倍体泥鳅及四倍体泥鳅, 而三倍体泥鳅与四倍体泥鳅间无显著性差异。野生群体中, 泥鳅雌性个体所占比例从上游到下游逐渐减少, 大鳞副泥鳅无明显变化。相关性分析显示, 泥鳅体质量与地域经度呈负相关, 大鳞副泥鳅体质量与地域经度无显著相关性。研究表明, 长江流域多倍体泥鳅和大鳞副泥鳅物种资源丰富。

关键词: 泥鳅; 大鳞副泥鳅; 多倍体; 分布格局; 长江流域

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 和大鳞副泥鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*) 隶属于鲤形目 (Cypriniformes)、鳅科 (Cobitidae)、花鳅亚科 (Cobitidae), 分别属于泥鳅属 (*Misgurnus*) 和副泥鳅属 (*Paramisgurnus*), 广泛分布于中国、日本、韩国、朝鲜及东南亚国家^[1-3]。泥鳅和大鳞副泥鳅外部形态特征相似, 腹鳍前躯体均呈圆筒状, 由此向后渐侧扁, 头较尖, 体背部及两侧呈深灰色, 腹部呈灰白色。2 种鳅皮下黏液腺发达, 体表黏液丰富, 体色随生活环境变化及饵料营养不同而发生改变, 其生活习性也极为相似, 喜欢栖息于静水底层, 常出没于湖泊、池塘、沟渠和水田底部富有植物碎屑的淤泥表层, 对环境适应力强。泥鳅和大鳞副泥鳅不仅用鳃和皮肤呼吸, 还具有肠呼吸功能^[4], 具有特殊的研究价值^[5-7]。泥鳅在自然界中存在天然的多倍体现象, 这在其他水产动物中是极其罕见的, 国内外学者对其分布和形成机制进行了大量研究。目前, 在中国已经发现二倍体泥鳅、三倍体泥鳅、四倍体泥鳅、五倍体泥鳅

及六倍体泥鳅^[8-10]。这种泥鳅多倍体现象在日本也存在, 且以二倍体和三倍体泥鳅为主^[11]。一般认为四倍体泥鳅是自然加倍产生的, 为进化水平上的同源四倍体; 三倍体泥鳅是由二倍体雌鳅所产生的不减数分裂的卵, 与正常的单倍体精子受精产生的^[8]。泥鳅和大鳞副泥鳅均为营养丰富, 高蛋白, 低脂肪的水产经济动物, 但近年来, 由于其在国内外市场上的需求量激增, 野生泥鳅和大鳞副泥鳅资源量因过度的捕捞和生态条件的恶化而急剧减少。

长江是中国第一长河、世界第三长河, 干流全长 6 300 km, 包括 3 000 多条支流及 4 000 多个湖泊, 长江干流与这些支流湖泊共同构成了复杂的长江流域, 横跨中国东部、中部和西部, 流域总面积达 180 万 km²。长江流域是泥鳅和大鳞副泥鳅最重要的分布区域之一, 由于其地理位置的独特性、流域的广阔性和环境复杂性, 以及泥鳅和大鳞副泥鳅有限的区域活动性, 使 2 种鳅在长江流域形成了复杂的群体分布, 显示了其资源量和地域

收稿日期: 2015-03-05 修回日期: 2015-07-07

资助项目: 国家自然科学基金 (31372180)

通信作者: 王卫民, E-mail: wangwm@mail.hzau.edu.cn

分布差异性。对于泥鳅与大鳞副泥鳅在长江流域的分布状况,已有研究^[12-13]表明,长江流域中下游有丰富的泥鳅和大鳞副泥鳅资源,而在长江上游分布较少,尤其在岷江以上水系未见泥鳅及大鳞副泥鳅分布,而多倍体泥鳅集中分布在汉江水系^[8]。然而,已有的研究仅调查了泥鳅或大鳞副泥鳅在某个支流或湖泊中的资源分布情况,对长江整体泥鳅和大鳞副泥鳅的分布状况缺乏系统的分析。本研究首次对长江流域的泥鳅及大鳞副泥鳅分布状况进行了系统的调查,为其资源保护和

群体遗传进化提供了基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查区域

2014年8月至9月,依据水利部长江水利委员会所划定的水域分布,本研究调查了岷沱水系、嘉陵江水系、上游干流水系、乌江水系、汉江水系、中游干流水系、洞庭湖水系、鄱阳湖水系、下游干流水系和太湖水系的泥鳅和大鳞副泥鳅野生群体,共计58个采样点(图1)。采样点信息见附表1。

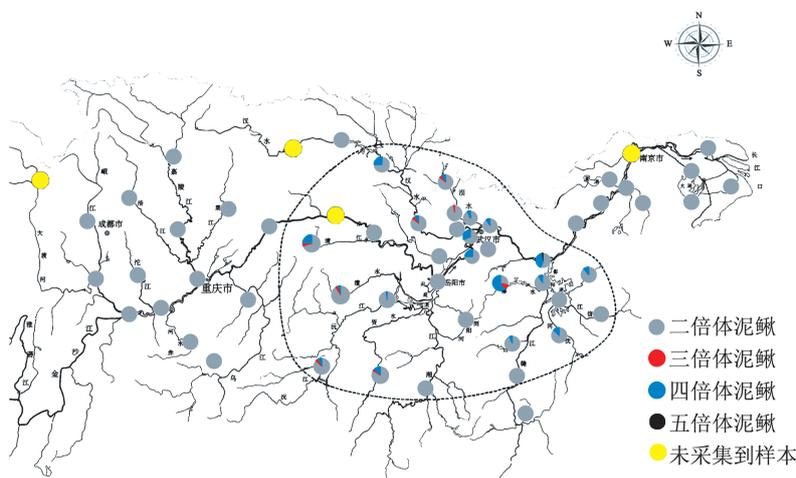


图1 采样点与长江流域泥鳅地理分布

Fig. 1 The distribution of sampling stations and *M. anguillicaudatus* polyploid in the Yangtze River basin

表1 长江流域不同倍性泥鳅分布

Tab. 1 Distribution of different ploidy levels of *M. anguillicaudatus* in the Yangtze River basin

倍性 ploidy levels	不同倍性泥鳅分布 distribution of different ploidy levels												
	清江 Qingjiang River	澧水 Lishui River	沅江 Yuanjiang River	资水 Zishui River	洞庭湖 Dongting Lake	汉江 Hanjiang River	涪水 Yunshui River	修水 Xiushui River	赣江 Ganjiang River	抚河 Fuhe River	饶河 Raohe River	鄱阳湖 Poyang Lake	长江干 流中游 midstream
	二倍体 diploid	19	64	52	47	107	142	114	13	132	39	40	111
三倍体 triploid	1	2	3	1	-	2	3	4	-	-	-	-	-
四倍体 tetraploid	7	4	5	8	1	18	7	28	3	6	5	23	27
五倍体 pentaploid	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-

1.2 样品采集和倍性鉴定

依据泥鳅和大鳞副泥鳅形态上的不同进行种类鉴别。泥鳅体细长,背鳍之前略呈圆筒形,背鳍之后侧扁;体被细鳞,背鳍、尾鳍和臀鳍多褐色斑点,尾鳍基部偏上方有一显著深褐色斑。大鳞副泥鳅体侧扁,越趋于尾鳍越侧扁,尾柄上、下侧皮质棱(或鳍褶)较发达,体被细鳞,鳞片较泥鳅大,尾鳍基部偏上方深褐色斑不明显。

样本经氨基甲酸乙酯麻醉(40 mg/L),使用

干纱布擦干鱼体表面后,在室内进行体长、体质量测量及性别鉴定。使用1%肝素钠润洗的注射器从鱼尾静脉取血,将血液用PBS(NaCl 8.0 g, KCl 0.2 g, Na₂HPO₄ 1.42 g, KH₂PO₄ 0.27 g, ddH₂O 1 000 mL)稀释至血细胞浓度10⁶个/mL,随后使用流式细胞仪检测(Cell Lab Quanta™ SC, Beckman Coulter)细胞倍型。在测定泥鳅DNA相对含量时,使用鸡血红细胞做内参,处理方法与待测泥鳅血样相同。将鸡血红细胞与待测泥鳅血

样同时加入样品杯中,用 DAPI 染料进行染色,三者体积比为 1:1:2。染色 3 ~ 5 min 后即可用流式细胞仪进行检测,获得待测泥鳅与鸡血红细胞 DNA 含量的相对比值(图 2)。

1.3 数据分析

Excel 2010 与 SPSS 19.0 被用于基础实验数据的统计分析,制图使用 R-ackages 与 Adobe Photoshop CS5。方差分析、Duncan 和 LSD 均值多重比较被用于不同群体间生长性状的差异分析。体质量与地域经度的相关分析采用 Pearson 相关分析,双侧检验。Pearson 相关系数(r):

$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}}$$

2 结果

2.1 长江流域多倍体泥鳅和大鳞副泥鳅分布

在本次调研的 58 个采样点中,大渡河、长江

巴东段、汉江上游、长江南京段 4 个点未采集到泥鳅和大鳞副泥鳅样本,赤水河、乌江下游、长江宜宾段和长江随州段未采集到大鳞副泥鳅样本。其余点共采集到 2 499 尾泥鳅及 2 008 尾大鳞副泥鳅。泥鳅群体中二倍体泥鳅占有绝对优势,共计 2 339 尾,在每个采样点均有分布且占总数目的 93% 左右。其次是四倍体泥鳅,总计 143 尾,占泥鳅总数的 0.06%;三倍体泥鳅 16 尾(<0.01%),五倍体泥鳅仅在鄱阳湖发现有 1 尾,本次调查未发现六倍体泥鳅。

长江流域不同区域中,多倍体泥鳅的分布情况不一致。多倍体泥鳅集中分布在长江流域中部,长江上、下游河段几乎都是二倍体泥鳅。在多倍体泥鳅出现的区域中,各倍性的泥鳅可以共存,没有明确的分布界限。多倍体泥鳅中以四倍体出现数目和频率居多,分布范围较三倍体泥鳅更广(图 1)。

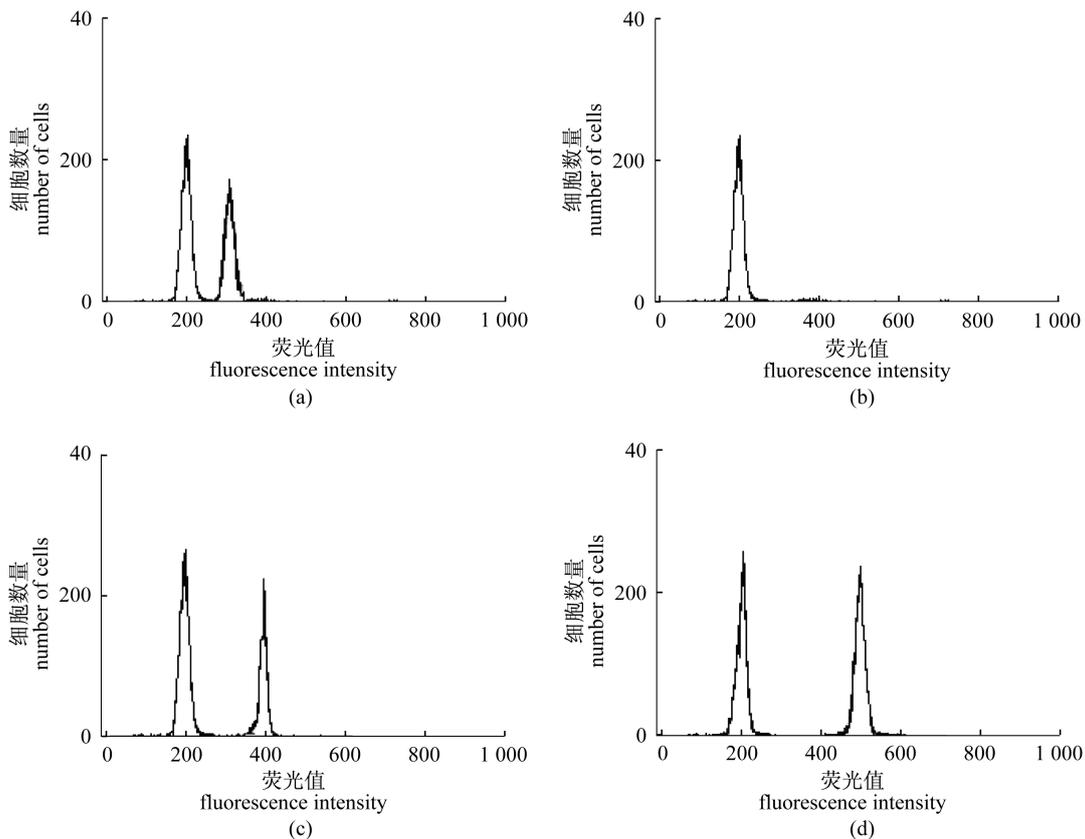


图 2 泥鳅红细胞核 DNA 相对含量直方图

以鸡血红细胞作为内参,(a) 二倍体泥鳅,(b) 三倍体泥鳅,(c) 四倍体泥鳅,(d) 五倍体泥鳅

Fig.2 Flow cytometric histograms of RBC (red blood cell) nuclear relative DNA content

The CRBC (chicken red blood cell) was used as an internal standard;(a) diploid,(b) triploid,(c) tetraploid,(d) pentaploid

2.2 长江流域多倍体泥鳅及大鳞副泥鳅生长情况

泥鳅和大鳞副泥鳅生长对比 野生群体中泥鳅的平均体质量(13.40 g)大于大鳞副泥鳅平均体质量(13.28 g),但两者并无显著性差异($P > 0.05$)。泥鳅和大鳞副泥鳅体长和体质量拟合曲线分析(图3)显示,大鳞副泥鳅曲线略高于泥鳅,表明大鳞副泥鳅相比于泥鳅具有更好的生长性能;大鳞副泥鳅群体中存在较多的极大和极小个体,泥鳅群体的生长性状数据则比较集中,体质量在60 g以上未见有泥鳅个体的出现,而大鳞副泥鳅最大的个体体质量可达116.13 g。

多倍体泥鳅生长性状差异 长江多倍体泥鳅中,五倍体泥鳅只采集到1尾,无统计意义,在此不做分析。

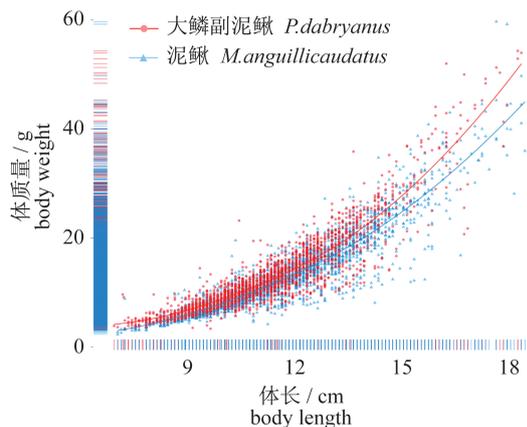


图3 长江流域泥鳅和大鳞副泥鳅体长体质量拟合曲线
Fig.3 Relationships between body length and weight of *M. anguillicaudatus* and *P. dabryanus* in the Yangtze River basin

泥鳅的体长和体质量数据变化一致,三倍体泥鳅和四倍体泥鳅的体长和体质量相差不大,两者无显著性差异($P > 0.05$),二倍体泥鳅的体长和体质量明显小于三倍体泥鳅和四倍体泥鳅,与三倍体泥鳅有显著性差异($P < 0.05$),与四倍体

泥鳅有极显著性差异($P < 0.01$)。38.1%的二倍体泥鳅为小个体(体质量 < 10.00 g),其次是四倍体泥鳅中25.4%为小个体,最少的三倍体泥鳅小个体比例仅为11.8%(表2)。

体质量与地域经度 泥鳅体质量与地域经度呈显著负相关($r = -0.510$),大鳞副泥鳅体质量与地域经度无显著相关性($r = -0.177$)。泥鳅和大鳞副泥鳅体质量随地域经度变化的趋势基本一致,泥鳅相对于大鳞副泥鳅来说,其体质量随经度变化显著,大鳞副泥鳅则无显著性变化(图4)。

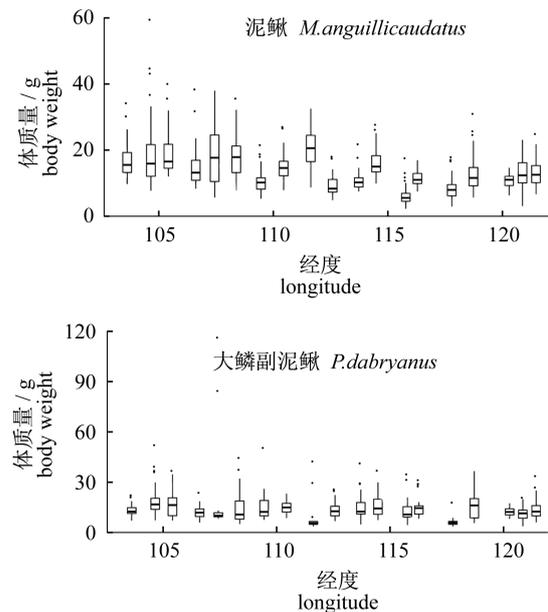


图4 长江流域泥鳅和大鳞副泥鳅体质量与经度的关系
Fig.4 Relationship between longitude and body weight of *M. anguillicaudatus* and *P. dabryanus* in the Yangtze River basin

2.3 长江流域泥鳅及大鳞副泥鳅性别差异

长江流域不同河段泥鳅和大鳞副泥鳅的雌雄比例不尽相同,在汉江以上的中上游河段,泥鳅和大鳞副泥鳅群体都是雌性居多(雌性比例超过

表2 长江流域多倍体泥鳅体长、体质量对比

Tab.2 The growth comparison of polyploid *M. anguillicaudatus* in the Yangtze River basin

生长指标 growth index	二倍体泥鳅 diploid		三倍体泥鳅 triploid		四倍体泥鳅 tetraploid	
	平均值 ± 标准差 mean ± SD	变幅 range	平均值 ± 标准差 mean ± SD	变幅 range	平均值 ± 标准差 mean ± SD	变幅 range
体长/cm length	11.63 ± 1.93 ^{Aa}	4.20 ~ 18.40	12.84 ± 2.05 ^{ABb}	10.30 ~ 17.20	12.62 ± 2.34 ^{Bb}	8.80 ~ 19.80
体质量/g weight	13.18 ± 6.77 ^{Aa}	2.28 ~ 59.66	16.63 ± 7.71 ^{ABb}	9.38 ~ 35.00	16.62 ± 9.54 ^{Bb}	5.20 ~ 50.55

注:同行数据标有不同小写字母表示组间差异显著($P < 0.05$),标有不同大写字母表示组间差异极显著($P < 0.01$)

Notes: The different small letters after each value in the same row indicate significant different at $P < 0.05$. The different capital letters after each value in the same row indicate highly significant different at $P < 0.01$

50%) ,尤其泥鳅的雌性比例在很多地区达 70% 以上,汉江高达 88.9% ;在鄱阳湖水系及长江下游河段泥鳅的雌性比例逐渐下降,大部分地区在 50% 以下,修水低至 30.0% ,大鳞副泥鳅没有显著下降趋势,但相比上游出现了群体中雌性个体减少的现象(图 5)。总体而言,泥鳅和大鳞副泥鳅群体中雌性比例随着河段变化的趋势基本一致,从上游到下游雌性比例逐渐减少,但泥鳅的雌

雄比例随河段的变化波动较大,且大部分地区雌性比例都在 50% 以上。相对于大鳞副泥鳅而言,泥鳅总体的雌性个体更多,而大鳞副泥鳅波动幅度较小,尤其是在下游地区,雌性比例与泥鳅存在差异。

泥鳅和大鳞副泥鳅群体的雌性体质量都极显著大于雄性 ($P < 0.01$) ,在极大个体中雌性要多于雄性,尤其在大鳞副泥鳅中尤为明显(图 6)。

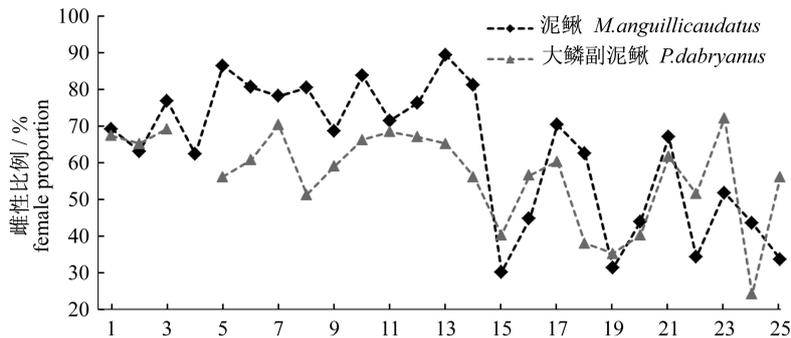


图 5 长江流域泥鳅和大鳞副泥鳅雌性比例

1. 岷江,2. 沱江,3. 嘉陵江,4. 赤水,5. 乌江,6. 长江干流上游,7. 清江,8. 澧水,9. 沅江,10. 资水,11. 湘江,12. 洞庭湖,13. 汉江,14. 沮水,15. 修水,16. 赣江,17. 抚河,18. 信江,19. 饶河,20. 鄱阳湖,21. 长江干流中游,22. 水阳江,23. 黄浦江,24. 太湖,25. 长江干流下游

Fig. 5 The female proportion of *M. anguillicaudatus* and *P. dabryanus* in the Yangtze River basin

1. Min River,2. Tuo River,3. Jialing River,4. Chi River,5. Wu River,6. Upstream,7. Qing River,8. Li River,9. Yuan River,10. Zi River,11. Xiang River,12. Dongting Lake,13. Han River,14. Yun River,15. Xiu River,16. Gan River,17. Fu River,18. Xin River,19. Rao River,20. Poyang Lake,21. Midstream,22. Shuiyang River,23. Huangpu River,24. Tai Lake,25. Downstream

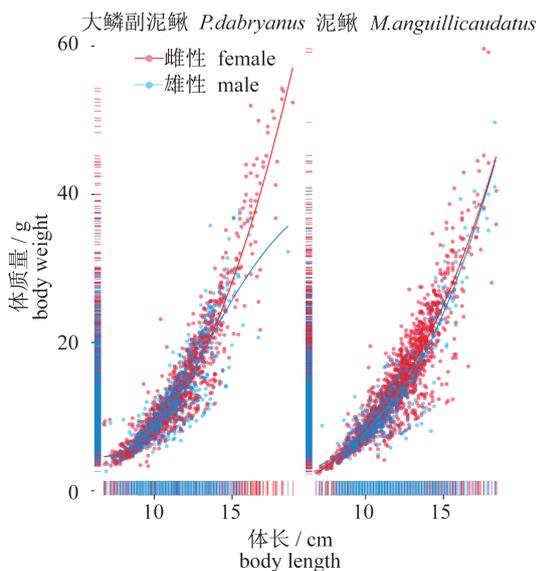


图 6 长江流域泥鳅和大鳞副泥鳅雌雄生长对比

Fig. 6 The growth comparison of females and males in the Yangtze River Basin

3 讨论

3.1 长江流域泥鳅和大鳞副泥鳅地理群体分布差异

本次 58 个采样点中仅有 8 个点未采集到泥鳅或大鳞副泥鳅样本,其余采样点均有泥鳅和大鳞副泥鳅分布,说明长江流域是泥鳅和大鳞副泥鳅的主要分布地区之一,两种鳅广泛的分布性主要与长江流域的自然地理特征有关^[14]。

研究发现,长江流域的泥鳅和大鳞副泥鳅存在地理群体分化,这与游翠红^[15]和王坤^[16]的研究结果一致。雌雄比例呈现出三个不同的分布区域,长江上游到鄱阳湖之前的中游地区雌性数目要显著多于雄性,鄱阳湖水系不同群体的雌雄比例在 50% 左右变化,长江下游地区雌性数目要小于雄性,刘士力等^[17]的研究表明,泥鳅群体的雌雄数目比例与繁殖性能有关,雌性数目的增多可以提高产卵量,但在长江泥鳅群体中雌雄比例的变化是否与其产卵量及繁殖性能有关还有待进一步

步考察。泥鳅和大鳞副泥鳅体质量随地域经度的增大而降低,有从上游到下游递减的趋势。鱼类的生长性能与其生活环境显著相关^[18],长江上游的生态环境优于下游^[19],由此推断长江泥鳅和大鳞副泥鳅体质量从上游到下游递减可能与生态环境的变化有关。泥鳅和大鳞副泥鳅的上述特征都显示出了地理间的群体分化,这与其群体对环境的长期适应性、自身有限的迁移能力和地理隔离等因素有关。王坤^[16]分析了长江流域不同泥鳅群体的分子遗传差异,显示出分子水平上不同泥鳅群体间也存在遗传分化。

3.2 长江流域泥鳅和大鳞副泥鳅性别结构及生长性能分析

长江流域的泥鳅和大鳞副泥鳅雌性体质量大于雄性体质量,且存在极显著差异。鱼类中雌雄个体存在生长差异是普遍现象,尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica*)、鳊(*Siniperca chuatsi*)、欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)和金钱鱼(*Scatophagus argus*)等多种鱼类都出现雌雄个体生长差异,马细兰等^[20]与吴波^[21]对其原因进行了研究,发现摄食消化、物种遗传、生长与生殖能量配置、基因型与表现型、类固醇激素水平、受体及结合蛋白浓度等因素都有可能导致雌雄生长差异。泥鳅和大鳞副泥鳅的雌雄生长差异虽然并未获得广泛的关注,但之前也有研究表明雌性个体要大于雄性^[22-23],这与本研究的结果相似,然而其机理还有待进一步研究,以便应用于养殖生产。泥鳅和大鳞副泥鳅的生长性状并无显著性差异,但泥鳅群体的个体大小数据较均一集中,而大鳞副泥鳅中则出现较多极大和极小个体,个体间生长差异较泥鳅更显著。

从长江不同流域的雌雄比例、雌雄生长差异和在地域经度上的分布差异可以看出,泥鳅和大鳞副泥鳅的总体变化趋势是相同的,但泥鳅随环境的变化波动幅度要大于大鳞副泥鳅,说明泥鳅相比大鳞副泥鳅更易受环境变化的影响。

3.3 长江流域泥鳅多倍体现象分析

Ojima等^[24]最早报道了泥鳅的多倍体现象,日本野生种群与销售市场中都存在多种倍性的泥鳅,包含染色体数为 $2n = 50 (10M + 4SM + 36T)$ 的二倍体,染色体数为 $3n = 75 (15M + 6SM + 54T)$ 的三倍体及 $4n = 100 (20M + 8SM + 72T)$ 的四倍体。Arai^[11]指出日本泥鳅野生群体有二倍

体和三倍体,无四倍体,四倍体泥鳅仅在水产品市场中发现,推测其来源于中国。李康等^[25]首次报道我国沙市和武昌存在四倍体泥鳅,并推测其核型曾有一个 $2n = 50$ 至 $4n = 100$ 的自然加倍过程。2009年,Abbas等^[26]首次在长江流域湖北省段发现天然六倍体泥鳅,后来Yu等^[10]又在湖北发现了六倍体泥鳅,但群体数量极少。关于天然五倍体泥鳅的报道尤为少见,仅在2013年,Cui等^[27]首次报道了天然五倍体泥鳅在湖北地区的分布。本研究不仅采集到二倍体泥鳅、三倍体泥鳅和四倍体泥鳅,还在长江流域九江县河流发现了五倍体泥鳅,丰富了多倍体泥鳅分布的基础数据。

余先觉^[28]和印杰等^[29]研究发现,多倍体泥鳅的分布存在明显的地理种群,而周小云^[8]则指出二倍体和多倍体泥鳅地理分布并没有明显的界限。本研究发现,长江多倍体泥鳅主要分布在洞庭湖水系、鄱阳湖水系及汉江水系,尤其是湖北地区,多倍体泥鳅分布最为广泛。长江上游和下游只有二倍体泥鳅分布,但在出现多倍体的区域,二倍体泥鳅和多倍体泥鳅是共存的,未出现只有多倍体分布的采样点,说明多倍体泥鳅在长江流域整体的分布上是有一定的区域性,但由于不同倍性是可以共存的,所以没有完全明确的分布界限。

在对多倍体植物的研究中,大多数学者都认为,多倍体植物比二倍体植物对干燥和气候不稳定的环境有更好的适应性^[30]。随着研究的不断深入,Otto等^[31]认为,多倍体生物由于额外的基因组拷贝,更有可能起源于那些气候不稳定的地区,但是在鱼类中这种规律并不完全适合,本研究发现二倍体泥鳅比多倍体泥鳅有更广泛的地理分布,所有采样点中都有二倍体泥鳅的分布,而多倍体泥鳅仅在少部分采样点出现,且在高海拔及环境较差区域都是二倍体泥鳅。在鄱阳湖和湖北省一些区域的群体中,有二倍体泥鳅和四倍体泥鳅共存,但并未出现三倍体泥鳅,说明二倍体泥鳅和四倍体泥鳅在自然条件下可能存在生殖隔离,但其通过哪些途径达到生殖选择的目的,目前尚不清楚。对花鳅(*Cobitis taenia*)的研究发现,产卵的大小在同域生殖隔离中是一个重要因素^[32];蛙类中雌性个体在生殖过程中会根据雄蛙鸣叫的差异选择配对^[33],有的种类则会偏好于大个体的雄性或特定大小的雄性^[34]。本研究表明,四倍体泥鳅性成熟个体,无论雌雄往往都比二倍体大得多,

推测泥鳅的生殖选择与个体大小差异有关,但其关系还有待进一步考证。

参考文献:

- [1] Li X, Ma C, Qin Y J, *et al.* Establishment and characterization of fin cell lines from different ploidy oriental weatherfish, *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38 (1): 150 - 157. [李霞, 马辰, 秦艳杰, 等. 不同倍性泥鳅鳍细胞系的建立及生物学特性分析. *水生生物学报*, 2014, 38(1):150 - 157.]
- [2] Dong Z G, Li X Y, Zhang X J, *et al.* Development of microsatellite markers for genetic analysis in the large scale loach *Paramisgurnus dabryanus* [J]. *Conservation Genetics Resources*, 2014, 6 (1): 151 - 153.
- [3] Zhao X. The genetic diversity analysis of *Paramisgurnus dabryanus* in the Yellow River [D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2012. [赵旭. 黄河流域大鳞副泥鳅遗传多样性分析. 新乡: 河南师范大学, 2012.]
- [4] Xie C X. *Ichthyology* [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2009. [谢从新. 鱼类学. 北京: 中国农业出版社, 2009.]
- [5] McMahan B R, Burggren W W. Respiratory physiology of intestinal air breathing in the teleost fish *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Journal of Experimental Biology*, 1987, 133: 371 - 393.
- [6] Goncalves A F, Castro L F C, Wilson C P, *et al.* Is there a compromise between nutrient uptake and gas exchange in the gut of *Misgurnus anguillicaudatus*, an intestinal air-breathing fish [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2007, 2 (4): 345 - 355.
- [7] Liu W S, Wang F L. An electron microscopic study of the respiratory epithelium in the air respiration organs of *Clarias fuscus*, *Channa asiatica* and *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28 (5): 519 - 525. [刘文生, 王凤麟. 胡子鲶、月鳢、泥鳅具气呼吸作用器官呼吸上皮的电镜观察. *水生生物学报*, 2004, 28 (5): 519 - 525.]
- [8] Zhou X Y. Biogeographic patterns of polyploidy *Misgurnus anguillicaudatus* in Hubei Province and basic studies on its breeding [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009. [周小云. 湖北省多倍体泥鳅分布格局及泥鳅育种基础研究. 武汉: 华中农业大学, 2009.]
- [9] Li Y J, Tian P P, Li Y, *et al.* Comparison of karyotypes and morphological characteristics in oriental weatherfish with different ploidy from Honghu lake [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2009, 24 (3): 236 - 241. [李雅娟, 田萍萍, 李莹, 等. 中国洪湖不同倍性泥鳅的染色体组型及形态特征比较分析. *大连水产学院学报*, 2009, 24(3):236 - 241.]
- [10] Yu Y Y, Abbas K, Wang W M, *et al.* Geographical distribution of ploidy level variation of loach *Misgurnus anguillicaudatus* in China [J]. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 51 (2): 273 - 281.
- [11] Arai K. Genetics of the loach, *Misgurnus anguillicaudatus*, recent progress and perspective [J]. *Folia Biologica-Krakow*, 2003, 51: 107 - 117.
- [12] Zeng L G, Zhang W, Gan Y F, *et al.* The genetic diversity of loach *Misgurnus anguillicaudatus* from the Poyang lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34 (5): 966 - 972. [曾柳根, 张伟, 甘云飞, 等. 鄱阳湖区泥鳅遗传多样性研究. *水生生物学报*, 2010, 34(5):966 - 972.]
- [13] You C H, Tong J G, Yu X M. Microsatellite DNA analysis on genetic diversity of seven populations of *Paramisgurnus dabryanus* [J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33 (1): 84 - 91. [游翠红, 童金苟, 俞小牧. 大鳞副泥鳅 7 个群体遗传变异的微卫星分析. *水生态学杂志*, 2012, 33(1):84 - 91.]
- [14] Liu J K. *Lakes of the Middle and Lower Basins of the Chang Jiang* [M]. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1984.
- [15] You C H. The studies on some genomic characters of two small fishes in China [D]. Wuhan: The Chinese Academy of Sciences, 2007. [游翠红. 两种小型鱼类的某些基因组特征研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2007.]
- [16] Wang K. A primary study on molecular genetic differences and growth of different loach populations in the Yangtze River Basin [D]. Suzhou: Suzhou University, 2009. [王坤. 长江流域不同泥鳅群体的分子遗传差异及生长的初步研究. 苏州: 苏州大学, 2009.]
- [17] Liu S L, Hu T J, Wang Y C, *et al.* Effects of sex ratio on propagation of oriental weatherfish, *Misgurnus* sp. [J]. *Hebei Fisheries*, 2010, 12: 30 - 32. [刘士力, 胡廷尖, 王雨辰, 等. 泥鳅雌雄性比对繁殖影响的试验. *河北渔业*, 2010, 12: 30 - 32.]

- [18] Ren J M, Li D S, Zhou C S. On the relations between the growth of silver carp and bighead carp and the environmental factors in large and medium sized reservoirs in Shandong Province [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1993, 23(4): 75-81. [任敬明, 李德尚, 周春生. 山东省大、中型水库鲢、鳙的生长与环境条件的关系. 青岛海洋大学学报, 1993, 23(4): 75-81.]
- [19] Chang Jiang Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources. Changjiang & southwest rivers water resources bulletin [EB/OL]. http://www.cjw.com.cn/zwzc/bmgb/szygb/201403/t20140317_127953.html. 2014-03-17. [水利部长江水利委员会. 长江流域及西南诸河水资源公报. http://www.cjw.com.cn/zwzc/bmgb/szygb/201403/t20140317_127953.html. 2014-03-17.]
- [20] Ma X L, Zhang Y, Zhou L B, et al. Studies of growth sexual dimorphism in vertebrate [J]. Chinese Journal of Zoology, 2009, 44(2): 141-146. [马细兰, 张勇, 周立斌, 等. 脊椎动物雌雄生长差异的研究进展. 动物学杂志, 2009, 44(2): 141-146.]
- [21] Wu B. Difference of growth performance, digestive enzyme activities and growth hormone (GH) expressions between male and female *Scatophagus argus* Linnaeus [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2013. [吴波. 雌雄金钱鱼生长性能、消化酶活性及生长激素基因表达的研究. 湛江: 广东海洋大学, 2013.]
- [22] Schmidt R E, Schmidt A J. Observations on oriental weatherfish (*Misgurnus anguillicaudatus*), an exotic species in the Hudson River valley, New York [J]. Northeastern Naturalist, 2014, 21(1): 134-145.
- [23] Huang S Q, Wang Y K, Zhao T, et al. Age structures and growth characteristics of *Paramisgurnus dabryanus* and *Misgurnus anguillicaudatus* in Henan Province [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2014, 33(5): 93-98. [黄松钱, 王也可, 赵婷, 等. 河南地区大鳞副泥鳅和泥鳅的年龄与生长. 华中农业大学学报, 2014, 33(5): 93-98.]
- [24] Ojima Y, Takaii A. The occurrence of spontaneous polyploid in the Japanese common loach, *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. Proceedings Japan Academy, 1979, 55: 487-491.
- [25] Li K, Li Y C, Zhou D. A comparative study of the karyotypes in two species of mud loaches [J]. Zoological Research, 1983, 4(1): 75-81. [李康, 李渝成, 周瞰. 两种泥鳅染色体组型的比较研究. 动物学研究, 1983, 4(1): 75-81.]
- [26] Abbas K, Li M Y, Wang W M, et al. First record of the natural occurrence of hexaploid loach *Misgurnus anguillicaudatus* in Hubei Province, China [J]. Journal of Fish Biology, 2009, 75: 435-441.
- [27] Cui L, Abbas K, Yu Y Y, et al. First record of the natural occurrence of pentaploid loach, *Misgurnus anguillicaudatus* in Hubei Province, China [J]. Folia Zoologica, 2013, 62(1): 14-18.
- [28] Yu X J. Chromosome of freshwater fish in China [M]. Beijing: Science Press, 1989. [余先觉. 中国淡水鱼类染色体. 北京: 科学出版社, 1989.]
- [29] Yin J, Zhao Z S, Chen X Q, et al. Karyotype comparison of diploid and tetraploid loach, *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2005, 29: 469-472. [印杰, 赵振山, 陈小奇, 等. 二倍体和四倍体泥鳅染色体组型比较. 水生生物学报, 2005, 29(4): 469-472.]
- [30] Grant V. Plant speciation [M]. New York: Columbia University Press, 1981.
- [31] Otto S P, Whitton J. Polyploidy incidence and evolution [J]. Annual Review of Genetics, 2000, 34: 401-437.
- [32] Saitoh K. Reproductive and habitat isolation between two populations of the striated spined loach [J]. Environmental Biology of Fishes, 1990, 28: 237-248.
- [33] Michael J S, Roberts J D. Call structure may affect male mating success in the quacking frog *Crinia georgiana* (Anura: Myobatrachidae) [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2003, 53: 221-226.
- [34] Robertson J G M. Female choice increases fertilization success in the Australian frog, *Uperoleia laevigata* [J]. Animal Behaviour, 1990, 39(4): 639-645.

Investigation of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Paramisgurnus dabryanus* in the Yangtze River basin

ZHONG Jia¹, YI Shaokui¹, YU Yongyao¹, HUANG Songqian¹, SHEN Yudong¹
GUO Qingsong², WANG Weimin^{1*}

(1. College of Fishery, Key Laboratory of Agricultural Animal Genetics, Breeding and Reproduction of Ministry of Education, Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture,

Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Jianxia District Fishery Bureau of Wuhan City, Wuhan 430200, China)

Abstract: The distribution patterns of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Paramisgurnus dabryanus* were investigated in the Yangtze River basin. Specimens of four different ploidy levels were found as diploid ($2n = 50$), triploid ($3n = 75$), tetraploid ($4n = 100$) and pentaploid ($5n = 125$). Diploids were dominant, exhibiting broadly ecological amplitude. Polyploid *M. anguillicaudatus* populations were concentrated in the middle reaches of the Yangtze River and its subsidiary lakes. The weight of females in both *M. anguillicaudatus* and *P. dabryanus* was significantly greater than that in males ($P < 0.05$). However, there was no statistically significant difference between the growth traits of two species. The body length and weight of diploid *M. anguillicaudatus* were lower than that of triploid ($P < 0.05$) and tetraploid ($P < 0.01$). There was no significant difference in growth traits between triploid and tetraploid *M. anguillicaudatus*. Female proportion in *M. anguillicaudatus* populations gradually decreased from upstream to downstream, whereas in *P. Dabryanus* it fluctuated and no obvious trend was observed. The GLM linear regression analysis found that the body weight of *M. anguillicaudatus* was negatively correlated with longitude ($r = -0.510$), while no significant correlation was observed for *P. Dabryanus* ($r = -0.177$). This study proves the presence of *P. Dabryanus* and *M. anguillicaudatus* specimens of four different ploidy levels in natural populations in the Yangtze River basin, suggesting the need for further scientific attention and consideration of possible conservation measures.

Key words: *Misgurnus anguillicaudatus*; *Paramisgurnus dabryanus*; polypoidy; distribution pattern; Yangtze River basin

Corresponding author: WANG Weimin. E-mail: wangwm@mail.hzau.edu.cn

附表 1 长江流域泥鳅和大鳞副泥鳅采样点信息

Appendix 1 The information of sampling sites in Yangtze River Basin

水系 river	采样点 sampling	经度 longitude	纬度 latitude
岷沱水系 Mintuo River	S1	E 102°13'48"	N31°54'36"
	S2	E103°38'48"	N30°59'18"
	S3	E103°45'55"	N29°33'10"
	S4	E105°03'36"	N29°34'52"
嘉陵江水系 Jialingjiang River	S5	E105°48'59"	N32°26'23"
	S6	E104°40'58"	N31°28'19"
	S7	E106°06'38"	N30°50'26"
赤水河水系 Chishui River	S8	E107°27'56"	N31°12'41"
	S9	E105°41'49"	N28°35'26"
乌江水系 Wujiang River	S10	E107°45'37"	N29°19'29"
	S11	E106°55'38"	N27°43'34"
长江上游干流水系 upstream system	S12	E104°38'54"	N28°44'42"
	S13	E105°26'44"	N28°52'17"
	S14	E106°38'38"	N29°30'02"
	S15	E108°24'30"	N30°48'30"
	S16	E110°24'17"	N31°01'25"
	S17	E111°17'11"	N30°41'33"
	S18	E109°29'10"	N30°16'30"
清江水系 Qingjiang River 洞庭湖水系 Tongting Lake	S19	E110°28'40"	N29°06'13"
	S20	E111°41'53"	N29°01'56"
	S21	E109°59'48"	N27°33'19"
	S22	E111°28'10"	N27°14'20"
	S23	E113°07'44"	N29°21'27"
	S24	E112°36'51"	N26°53'21"
	S25	E113°19'46"	N28°00'22"
	S26	E 109°1'12"	N32°42'35"
汉江水系 Hanjiang River	S27	E110°48'57"	N32°49'57"
	S28	E111°39'39"	N32°23'23"
	S29	E112°35'17"	N31°10'05"
	S30	E113°23'17"	N31°41'11"
	S31	E113°45'16"	N31°01'16"
	S32	E114°22'44"	N30°52'51"
	S33	E113°50'17"	N30°39'40"
	S34	E115°06'01"	N29°15'28"
	S35	E115°48'32"	N29°01'19"
	S36	E114°55'14"	N27°49'00"
鄱阳湖水系 Poyang Lake	S37	E114°59'32"	N27°06'48"
	S38	E115°21'46"	N26°20'17"
	S39	E116°14'31"	N28°22'37"
	S40	E116°18'52"	N27°56'00"
	S41	E117°11'19"	N29°16'14"
	S42	E117°14'57"	N28°17'33"
	S43	E113°27'59"	N29°48'22"
	S44	E113°56'47"	N29°57'55"
	S45	E114°30'43"	N30°14'00"
	S46	E114°01'48"	N30°34'44"
太湖水系 Tai Lake	S47	E114°33'17"	N30°39'25"
	S48	E116°00'51"	N29°42'36"
	S49	E120°05'10"	N30°53'45"
	S50	E120°19'06"	N31°29'44"
	S51	E121°29'19"	N31°14'14"
长江中游干流水系 midstream system	S52	E117°04'09"	N30°32'43"
	S53	E117°48'44"	N30°56'43"
	S54	E117°51'40"	N31°35'43"
	S55	E118°26'11"	N31°21'18"
	S56	E118°45'36"	N30°56'40"
	S57	E 118°46'48"	N32°2'24"
	S58	E120°54'04"	N31°59'00"
	长江下游干流水系 downstream system		