

doi: 10.7541/2019.100

## 珠江水系鳗鲡资源空间分布特征研究

帅方敏 李新辉 朱书礼 武智 张迎秋 陈蔚涛 刘亚秋

(中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380)

**摘要:** 研究于2015—2017年对珠江流域12个站位的日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)及花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)种群资源量与洄游路线等进行了初步调查, 并对其资源量状况、空间分布特征与环境影响因素等进行了分析。结果显示在近3年的调查时间里, 共采集到日本鳗鲡41尾, 平均年龄为(4.2±1.3)龄, 93%的个体未性成熟; 采集到花鳗鲡12尾, 平均年龄为(4.3±1.0)龄, 83%的个体未性成熟。日本鳗鲡在珠江水系最远能分布到红水河的合山江段, 其在渔获物中的数量百分比与重量百分比均低于百分之一; 花鳗鲡最远能分布到西江的石龙江段, 其在渔获物中的出现率低于两百分之一。珠江水系鳗鲡野生资源极度匮乏, 保护形势十分严峻。同时发现日本鳗鲡空间分布主要受河流分维和河流宽度的影响; 花鳗鲡的空间分布主要受河流宽度和水深的影响。该研究是珠江水系野生渔业资源长期调查的一部分, 研究结果将对鳗鲡资源的保护和可持续利用具有指导意义。

**关键词:** 日本鳗鲡; 花鳗鲡; 资源; 空间分布; 珠江; RDA

**中图分类号:** S932.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3207(2019)04-0847-07

鳗鲡(*Anguilla* spp.), 俗称鳗鱼, 属鳗鲡科、鳗鲡属, 是亚洲具有重要经济价值的降河洄游鱼类。在淡水中, 其广泛分布于中国的大陆和台湾、韩国及日本的各大水系。鳗鲡肉质鲜美, 营养价值高, 素有“水中人参”之称, 深受消费者喜爱。随着鳗鲡市场需求的增加, 养鳗业迅速发展, 由于其人工繁殖技术至今尚未解决<sup>[1]</sup>, 因而中国各地鳗苗捕捞出现了“掠夺”式的模式<sup>[2]</sup>, 加上近些年中国沿海湿地的减少, 已造成其资源严重匮乏。

关于鳗鲡的资源量现状国外已做了大量的研究, 一致认为这是由于生存环境的改变和人类过量的捕捞导致其资源的急剧下降<sup>[3, 4]</sup>。中国关于鳗鲡基础生物学特征<sup>[5-8]</sup>、养殖技术<sup>[9]</sup>以及其幼体发育特征<sup>[10, 11]</sup>的研究比较全面。关于其资源的研究相对起步较晚, 近年来也取得了一些成就, 如中国台湾海峡地区, 对日本鳗鲡的种群基因组成<sup>[12]</sup>、种群动态变化<sup>[13]</sup>等进行了深入研究, 同时还研究了气候变化对其种群更新的影响<sup>[14]</sup>。长江口地区研究了捕

捞对其野生资源量的影响<sup>[15, 16]</sup>。珠江口地区对其野生苗量进行过调查研究<sup>[2]</sup>。

空间分布格局是物种在长期进化过程中形成的一种适应性特征, 集中反映了异质性生境对物种空间资源利用的影响<sup>[17]</sup>。同时空间分布特征研究不仅了解其分布情况, 对于洄游轨迹, 识别保护的“热点”、“重点”地区都具有重要意义。河流鱼类群落的空间结构具有一定的自组织性并且遵循非随机过程, 日本鳗鲡为典型的降河洄游性鱼类, 在淡水中经5—8年育肥, 待性成熟后返回海水中繁殖, 对其洄游路线具有一定的选择性。已有研究发现水流速度、溶氧浓度、水温以及水体有机物质等<sup>[18-20]</sup>是影响河流鱼类群落空间异质性的重要因素。

珠江水系是中国南方第一大河, 是鳗鲡重要的育肥场所和野生资源基因库。在珠江分布的鳗鲡主要有日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)和国家二级保护野生动物花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)两种。但

收稿日期: 2018-06-05; 修订日期: 2018-11-14

基金项目: 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2018SJ-ZH05); 国家自然科学基金面上项目(31870527); 广州市科技计划项目(201804010487)资助 [Supported by the Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (2018SJ-ZH05); National Natural Science Foundation of China (31870527); Science and Technology Program of Guangzhou, China (201804010487)]

通信作者: 帅方敏(1982—), 女, 湖北荆门人; 博士; 主要从事渔业资源与生态研究。E-mail: shuai6662000@aliyun.com

是到目前为止,关于鳊鱼在我国南方水系的相关研究极度匮乏,其在珠江水系中的资源量如何?其空间分布格局受哪些因素的影响?其洄游的最远距离等科学问题到目前为止都不得而知。由于鳊鱼资源急剧衰退,建立在生态学基础上的科学资源管理方法就显得尤为重要<sup>[21, 22]</sup>。弄清鳊鱼资源量及其空间分布特征是制定其保护策略的重要依据,也是渔业资源有效管理和可持续利用的第一步<sup>[23]</sup>。近年来,由于国际社会对鳊鱼资源及其保护问题的高度关注<sup>[24, 25]</sup>,针对其资源量与空间分布格局的问题的研究刻不容缓。因此本研究于2015—2017年对珠江全流域12个站位鳊鱼资源现状、空间分布特征及其环境影响因素进行了初步分析,以期对珠江水系野生鳊鱼资源的保护和管理提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地点

珠江位于E97°39'—E117°18', N3°41'—N29°15'之间,北回归线横贯流域的中部,属于热带-亚热带气候。全长2217 km,多年平均温度在14—22℃,多年平均降雨量1200—2200 mm。本研究从上游至下游共设采样点12个,几乎覆盖整个珠江主干流。采样点设置下游密,上游疏,具体采样点信息及分布分别见表1和图1。

### 1.2 数据收集

由于珠江水系的中下游(广西广东两省),也就是鳊鱼育肥的主要场所,地处热带-亚热带气候,年均气温约23℃,无明显的冬季,为采样统一,因此采样分春夏秋冬三季进行。每个采样点每季采样3次,每次采样时间为1d,如遇雨天则择期再进行。采样方法为每日蹲守在各采样点码头对渔获物进行抽

样购买,调查的渔具主要为虾笼、定置刺网、撒网和流刺网。每种网具各购买一船,同时统计渔船作业时间和网具大小。采集到的标本经现场拍照、称重、测体长、标记后带回实验室鉴定、分析和保存。鱼类鉴定依据广西淡水鱼类志<sup>[26]</sup>与珠江鱼类志<sup>[27]</sup>。花鳊鱼采集后测量其体长体重,剪取部分鳍条后放回水体。花鳊鱼的年龄估算依据其体重与年龄的关系方程。

本研究选择河流电站装机总容量作为水工建设影响指标,水电站辐射范围为采样点上下游各50 km。选择河流分维特征作为河流形态及生境的复杂程度指标因子。河流分维和平均河宽由GIS根据珠江流域10 m×10 m栅格图计算得出,分维尺度依次选择10、8、6、4、2和1 km。河流平均水深由珠江水利科学研究院提供。水温、pH、溶氧、

表1 各采样点位置信息表

Tab. 1 The coordinates of sampling sites

站位 Site	名称 Name	经纬度 Coordinate	所属江段 Subordinate river
S1	八渡镇江段	105°47'56"E, 24°42'17"N	南盘江
S2	白层镇江段	105°47'7"E, 25°22'46"N	北盘江
S3	天峨县江段	108°52'22"E, 23°48'43"N	红水河
S4	大化县江段	107°59'16"E, 23°44'05"N	红水河
S5	合山市江段	110°04'19"E, 23°24'16"N	红水河
S6	石龙镇江段	109°42'03"E, 24°33'12"N	西江
S7	武宣县江段	109°36'42"E, 23°36'42"N	西江
S8	桂平市江段	110°53'06"E, 23°21'46"N	西江
S9	藤县江段	112°27'33"E, 23°4'54"N	西江
S10	封开江段	111°28'48"E, 23°25'48"N	西江
S11	德庆江段	111°46'33"E, 23°8'36"N	西江
S12	肇庆市江段	110°04'20"E, 23°24'15"N	西江

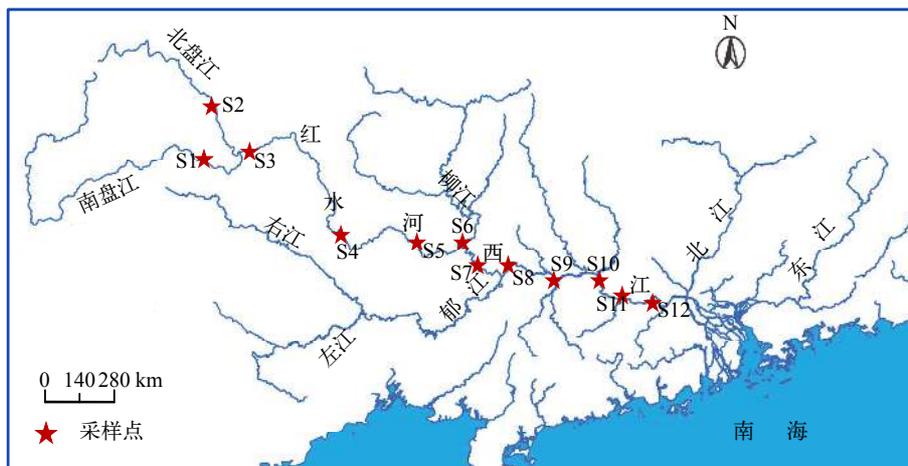


图1 采样点示意图

Fig. 1 Sampling site

盐度、总可溶性固体等理化因子用YSI便携式多参数水质分析仪(6600, 美国)测定。水体透明度采用塞氏盘法现场测定。

### 1.3 数据分析

本研究利用RDA分析环境变量是如何影响珠江水系鳗鲡的空间分布的, 并且找出最显著的环境因子。将不同网具采集到的渔获通过标准化(换算成单位时间单位面积的渔获数量)后再合并作为每个采样点的种群数据。由于原始数据较离散, 鳗鲡种群数据进行Hellinger转换, 栖息地环境因子进行 $\log_e(y+1)$ 转换<sup>[28, 29]</sup>, 使得满足方差分析的正态性。本研究之间采集到有鳗鲡的采样点数据进行了分析, 所有的分析过程通过R统计软件完成。

## 2 结果

### 2.1 资源量状况

3年时间在12个采样点中的7个采样点共采集日本鳗鲡41尾, 采集到的个体体长为27—67 cm, 体重为24—655 g, 年龄为2—6龄, 平均年龄为 $(4.2 \pm 1.3)$ 龄, 只有3尾性成熟, 93%的个体未性成熟。日本鳗鲡在渔获物中的数量百分比与重量百分比分别为0.37%、0.19%, 说明珠江水系日本鳗鲡野生资源极度匮乏(表2)。

在2015—2017年间, 在整个流域采集到国家II级保护野生动物花鳗鲡12尾, 其体长介于37—70 cm, 体重介于91—826 g, 年龄介于3—6年, 平均年龄为 $4.3 \pm 1$ , 其中只有2尾性成熟, 83%的个体未性成熟。最大个体体长70 cm, 体重826 g, 采集于武宣江段; 最小个体体长77 cm, 体重27 g, 采集于桂平江

段。花鳗鲡在渔获物中的出现率低于两百分之一。其中在封开江段采集到的个体最多, 在上游石龙江段采集的个体最少(表2)。

### 2.2 空间分布特征

对12个采样站位的调查数据进行统计分析后发现, 日本鳗鲡最远能分布到红水河的合山江段, 在南北盘江、红水河上游天峨、大化等江段都未采集到样本(图2)。最大个体采集于西江肇庆江段, 最小个体采集于西江武宣江段。武宣江段采集到的个体最多, 共12尾, 红水河合山采集到的个体最少, 仅1尾。各采样点采集到的个体数量差别显著。

全流域只有4个采样点采集到了花鳗鲡, 其最远能分布到西江的石龙江段。最大个体采集于武宣江段, 最小个体采集于桂平江段。封开江段采集到的个体相对较多, 共4尾, 而最接近河口的肇庆江段则未采集到。

### 2.3 群落结构与环境因子的关系

对各站位采集到的日本鳗鲡和花鳗鲡种群数据与各环境因子之间进行冗余对应分析(RDA)后发现河流分维、径流量和水电站总装机容量等环境因子主要贡献于RDA轴1, 河流宽度、平均水深与水体透明度等环境因子主要贡献于RDA轴2, 轴1和轴2能共同解释所有变量的68.7%, 模拟效果较好(图3)。总体上, 采样点沿轴呈现出空间自相关关系, 但各自又受不同环境因子的影响。中游采样点武宣(S7)和桂平(S8)主要受河流分维的影响, 藤县(S9)和封开(S10)主要受河流水深与河宽的影响; 下游德庆(S11)和肇庆(S12)主要受径流量和水体透明度的影响。

表2 2015—2017年各采样点采集到的鳗鲡体长体重特征

Tab. 2 The body length and weight of eels collected from 2015—2017

物种Species	地点Site	江段Name	全长Total length (mm)		体重Body weight (g)	
			均值Mean±SD	范围Range	均值Mean±SD	范围Range
日本鳗鲡( <i>Anguilla japonica</i> )	S5	合山	320±0	320	39±0	39
	S6	石龙	500±2	480—500	534±64	489—580
	S7	武宣	401±13	280—630	148±111	24—372
	S8	桂平	525±5	440—610	197±66	123—299
	S10	封开	495±11	420—570	504±149	398—610
	S11	德庆	506±12	272—655	217±139	30—460
	S12	肇庆	533±22	280—670	435±3354	27—655
	Total		470±12	272—670	201±157	24—655
花鳗鲡( <i>Anguilla marmorata</i> )	S6	石龙	590±14	580—600	550±99	480—620
	S7	武宣	597±11	480—700	450±362	104—826
	S8	桂平	390±28	370—410	93±21	91—94
	S10	封开	498±33	460—540	285±70	191—360
	Total		522±96	370—700	343±234	91—826

日本鳗鲡和花鳗鲡虽为姐妹种,但在珠江的分布却受不同的环境因子影响。经过1000次随机置换检验发现日本鳗鲡主要受河流分维和河流宽度的影响,而花鳗鲡则主要受河流宽度和水深的影响。总体上,二者的分布都与河流电站总装机容量呈负相关,受水体物理环境因子(如河流分维系数、河流宽度、河流水深等)的影响要远大于水体水质环境因子(如水体 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度、盐度、TDS等)的影响( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

日本鳗鲡是世界上分布较广、养殖较多的主要经济鱼类之一<sup>[2]</sup>。正是因为其常见性,因此长期以来人们忽视了其资源变化。花鳗鲡是鳗鲡类中体型较大的一种,虽然其分布范围广,但是种群数量少。近年由于人类的过度捕捞、水环境污染及

各种水工建设等阻断了鳗鲡的正常洄游通道,加上少数受经济利益驱使的渔民酷渔滥捕,使得鳗鲡自然种群数量日趋枯竭。由于复杂的生活史特征,鳗鲡人工繁殖技术至今尚未解决,养殖所需的苗种全依赖于野生资源的捕捞<sup>[30]</sup>。随着消费量的增长和养鳗业的发展,中国各地鳗苗捕捞出现了“掠夺”式的模式,加上近些年中国沿海湿地的减少,鳗苗进入到内河的可能性越来越少。南海北部珠江口海域由于咸淡水交汇,饵料生物丰富,生态环境良好,历史上大量鳗苗溯河进入珠江水系进行育肥。珠江口2012—2013年度日本鳗苗资源量约 $893.88 \times 10^4$ 尾<sup>[2]</sup>,本研究2015—2017三年采样期间,只采集到日本鳗鲡41尾,花鳗鲡12尾,同时个体小型化,最大个体也只有70 cm,表明绝大部分鳗苗都没有进入到珠江进行育肥,其资源量现状令人堪忧。虽然该次调查的次数有限,但是根据物种数量多,被采

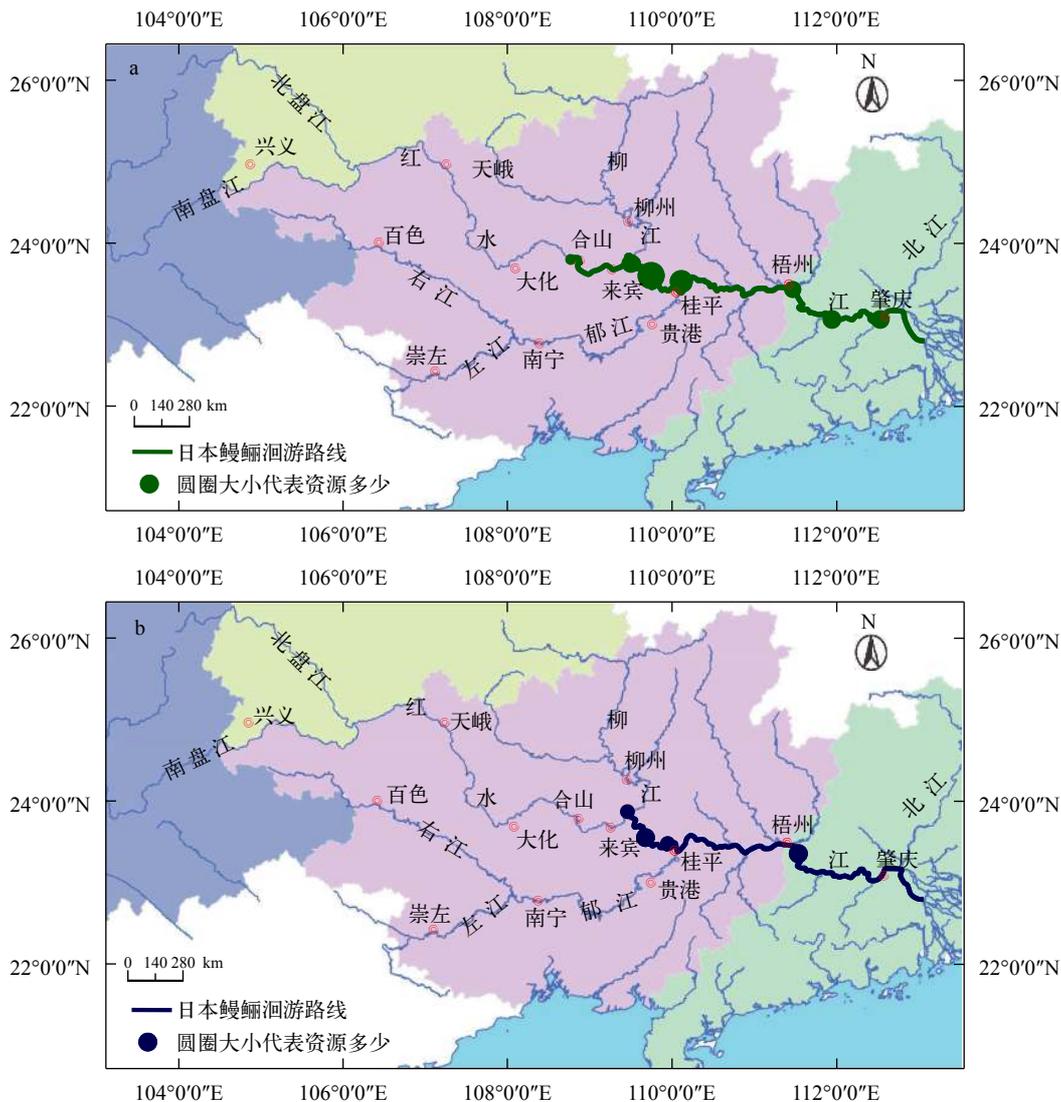


图2 珠江流域鳗鲡资源及洄游空间分布图

Fig. 2 The spatial distribution of eels in the Pearl River

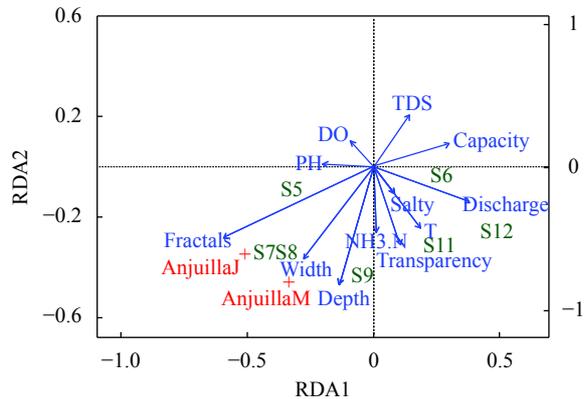


图3 珠江水系鳗鲡空间分布与环境因子之间的冗余对应分析图  
Fig. 3 Redundancy analysis triplot of *Anguilla japonica* abundance constrained by all environmental variables

数字代表采样站点, 箭头代表环境变量, +号表示物种

Numbers are the sampling sites. Environmental variable scores are represented by arrows. Crosses represent species

集到的频率大这一原则, 也说明整个珠江水系鳗鲡资源匮乏, 有针对性的建立保护制度刻不容缓。如果对于鳗鲡的资源量现状没有客观的认识, 一旦鳗鲡走上严重的衰退之路, 将造成难以恢复的境地。

历史资料记载<sup>[31]</sup>, 日本鳗鲡可以洄游至红水河江段, 但是在本研究中, 在红水河合山江段只采集到1尾, 数量远远少于中下游江段。这表明与历史资料相比, 日本鳗鲡的空间分布也发生了改变。现阶段, 河流水坝的建设是一个普遍的现象, 在我们的研究水域, 在桂平江段建有总装机容量为1600 MW的大藤峡水利枢纽、在梧州江段建有总装机容量为630 MW的长洲坝, 大坝的修建阻隔了鱼类的洄游, 进而影响鳗鲡的空间分布特征。

影响鱼类群落分布的因子有很多, 一般认为水深、温度、溶解氧、浑浊度、水系、河床底质类型、坡度和河流平均宽度是影响鱼类空间分布的关键因子<sup>[32-34]</sup>。我们的研究发现河流宽度与水深是珠江水系鳗鲡空间分布结构差异的最主要影响因子。同时还发现表征河流生境复杂程度的河流分维系数是日本鳗鲡的主要影响因子, 这说明日本鳗鲡主要栖息于生境较复杂的河段育肥。河宽与水深代表调查站位鱼类可以自由活动的体积, 河流越宽, 水越深, 鱼类活动空间越大, 生存空间是影响鱼类空间分布的一个重要因素<sup>[35]</sup>。值得一提的是, 历史资料记载花鳗鲡只洄游到西江藤县(S9)江段, 然而在我们的调查中, 发现花鳗鲡能洄游到黔江(S6)江段, 其洄游距离比历史记载要远约250 km。

在世界范围内, 除中国长江口和台湾地区<sup>[14-16]</sup>

以外, 关于鳗鲡洄游路线及空间分布的研究并不多。关于其资源量状况的研究甚少。该研究基于2015—2017年全流域的野外采样调查数据, 首次分析了珠江水系鳗鲡的资源量状况及空间分布特征, 为鳗鲡野生渔业资源养护提供了第一手资料。准确掌握天然鳗鲡资源空间分布情况, 是野生鳗鲡资源和养鳗业可持续发展的前提, 也是珠江水系渔业资源养护与利用的重要课题之一。要准确得到各地鳗鲡资源量及其空间分布情况, 必须加大采样频率与延长采样时间。由于该研究的监测时间和空间布点有限, 对每个监测点的资源量现状及变动规律未能进行深入的探讨, 这也是该研究下一步应深入进行的工作内容, 继续加强对珠江水系日本鳗鲡资源的监测与分析, 以便为渔业资源养护提供更准确的参考与建议。

#### 参考文献:

- [1] Jiang T B, Liu L P, Gao X Y, *et al.* Advances in research on artificial breeding of Japanese eels [J]. *Aquatic Science and Technology Information*, 2011, **38**(3): 121—127 [蒋天宝, 刘利平, 高晓阳, 等. 日本鳗鲡人工繁育研究的进展. *水产科技情报*, 2011, **38**(3): 121—127]
- [2] Shuai F M, Li Z Q, Liu G W, *et al.* Resource status of Japanese eel (*Anguilla japonica*) in the Pearl River Estuary [J]. *South China Fisheries Science*, 2015, **11**(2): 85—92 [帅方敏, 李智泉, 刘国文, 等. 珠江口日本鳗鲡种苗资源状况研究. *南方水产科学*, 2015, **11**(2): 85—92]
- [3] Tatsukaea K. Eel resources in east Asia [M]. Springer Japan. 2003, 293-298
- [4] Dou S. Eels in China: Species, Fisheries, Stock Management and Culture [M]. Eels and Humans. Springer Japan. 2014, 117-128
- [5] Xie G, Qi B L. Some characteristics of breeding biology of *Anguilla japonica* [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2002, **17**(4): 267—271 [谢刚, 祁宝崑. 鳗鲡某些繁殖生物学特性的研究. *大连水产学院学报*, 2002, **17**(4): 267—271]
- [6] Wang G J, Xie J, Yu D G. Advances in research on reproductive biology of Japanese eel (*Anguilla japonica*) [J]. *South China Fisheries Science*, 2005, **1**(1): 71—75 [王广军, 谢俊, 余德光. 鳗鲡繁殖生物学研究进展. *南方水产科学*, 2005, **1**(1): 71—75]
- [7] Xiao L, Wu H X, Xue J Z, *et al.* Review: reproductive biology research on the Japanese eel [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2005, **19**(3): 321—326 [肖利, 吴惠仙, 薛俊增, 等. 日本鳗鲡繁殖生物学研究概述. *上海海洋大学学报*, 2005, **19**(3): 321—326]
- [8] Xie Z L, Guo H Y, Tang W Q, *et al.* Age structure and growth characteristics at seaward migrating periods of *Anguilla japonica* in the Yangtze River Estuary [J].

- Journal of Fisheries of China*, 2010, **2**(2): 245—254 [谢正丽, 郭弘艺, 唐文乔, 等. 长江口降海洄游鳗鲡的年龄结构与生长特征. 水产学报, 2010, **2**(2): 245—254]
- [9] Xie J, Ye D G, Wang G J, *et al.* Spawning and development of embryo and larva in cultivated *Anguilla japonica* by artificial induction [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, **29**(5): 688—694 [谢骏, 余德光, 王广军, 等. 人工诱导池塘养殖鳗鲡成熟产卵以及胚胎和仔鱼发育. 水产学报, 2006, **29**(5): 688—694]
- [10] Zhang Y. Study on pigmentation developmental stages and morphological characteristics and otolith microchemistry of Japanese eels larvae, *Anguilla japonica*, collected in Yangtze River estuary [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University. 2013 [张亚. 长江口日本鳗鲡幼体的发育时相、形态特征和耳石化学研究. 上海: 上海海洋大学. 2013]
- [11] Guo H Y, Wei K, Tang W Q, *et al.* Developmental stages and migratory routes of larvae Japanese eel from south-east coastal estuaries of China [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, **36**(12): 1793—1802 [郭弘艺, 魏凯, 唐文乔, 等. 中国东南沿海日本鳗鲡幼体的发育时相及其迁徙路径分析. 水产学报, 2012, **36**(12): 1793—1802]
- [12] Han Y S, Tzeng W N. Use of the sex ratio as a means of resource assessment for the Japanese eel *Anguilla japonica*: a case study in the Kaoping River, Taiwan [J]. *Zoological Studies*, 2006, **45**(2): 255—263
- [13] Han Y S, Sun Y L, Liao Y F, *et al.* Temporal analysis of population genetic composition in the overexploited Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. *Marine Biology*, 2008, **155**(6): 613—621
- [14] Tzeng W N, Tseng Y H, Han Y S, *et al.* Evaluation of multi-scale climate effects on annual recruitment levels of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, to Taiwan [J]. *PLoS One*, 2012, **7**(2): e30805
- [15] Tseng M C, Kao H W, Hung Y H, *et al.* A study of genetic variations, population size, and population dynamics of the catadromous Japanese eel *Anguilla japonica* (Pisces) in northern Taiwan [J]. *Hydrobiologia*, 2012, **683**(1): 203—216
- [16] Zhang H, He W, Tong C, *et al.* The effect of fishing the anguillid elver (*Anguilla japonica*) on the fishery of the Yangtze estuary [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, **76**(4): 902—908
- [17] Jackson D A, Peres-Neto P R, Olden J D. What controls who is where in freshwater fish communities—the roles of biotic, abiotic, and spatial factors [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2001, **58**(1): 157—170
- [18] Grenouillet G, Pont D, Hérissé C. Within-basin fish assemblage structure: the relative influence of habitat versus stream spatial position on local species richness [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2004, **61**(1): 93—102
- [19] Peres-Neto P, Legendre P, Dray S, *et al.* Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions [J]. *Ecology*, 2006, **87**(10): 2614—2625
- [20] Sharma S, Legendre P, De Cáceres M, *et al.* The role of environmental and spatial processes in structuring native and non-native fish communities across thousands of lakes [J]. *Ecography*, 2011, **34**(5): 762—771
- [21] Sala O E, Chapin F S, Armesto J J, *et al.* Global biodiversity scenarios for the year 2100 [J]. *Science*, 2000, **287**(5459): 1770—1774
- [22] Dulvy N K, Sadovy Y, Reynolds J D. Extinction vulnerability in marine populations [J]. *Fish Fisheries*, 2003, **4**: 25—64
- [23] Tolimieri N, Levin P S. Assemblage structure of Eastern Pacific groundfishes on the U.S. continental slope in relation to physical and environmental variables [J]. *Transactions of the American fisheries society*, 2006, **135**: 317—332
- [24] Arat T. How have spawning ground investigations of the Japanese eel *Anguilla japonica* contributed to the stock enhancement [J]? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2014, **24**(1): 75—88
- [25] Chen J Z, Huang S L, Han Y S. Impact of long-term habitat loss on the Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2014, **151**: 361—369
- [26] Guangxi Academy of Fishery Sciences, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences. Freshwater Fishes of Guangxi, China (Second edition) [M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House. 2006 [广西壮族自治区水产研究所, 中国科学院动物研究所. 广西淡水鱼类志 (第二版). 南宁: 广西人民出版社. 2006]
- [27] Zheng C Y. Zhujiang Fishes [M]. Beijing: Science and Technology Press. 1989 [郑慈英. 珠江鱼类志. 北京: 科技出版社. 1989]
- [28] Makarenkov V, Legendre P. Nonlinear redundancy analysis and canonical correspondence analysis based on polynomial regression [J]. *Ecology*, 2002, **83**(4): 1146—1161
- [29] Legendre P, Gallagher E D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data [J]. *Oecologia*, 2001, **129**(2): 271—280
- [30] Tsukamoto K. Spawning and migratory behavior of the Japanese eel [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2006, **72**(3): 350—356
- [31] Lu K X. Pearl River Fishery Resources [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. 1990, 91-121 [陆奎贤. 珠江水系渔业资源. 广州: 广东科技出版社. 1990, 91-121]
- [32] Kouamélan E P, Teugels G G, N'Douba V, *et al.* Fish diversity and its relationships with environmental variables in a West African basin [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **505**(1-3): 139—146
- [33] Brown L R. Fish communities and their associations with environmental variables, lower San Joaquin River drainage, California [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2000, **57**(3): 251—269
- [34] 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

[35] Ornellas A B, Coutinho R. Spatial and temporal patterns

of distribution and abundance of a tropical fish assemblage in a seasonal *Sargassum* bed, Cabo Frio Island, Brazil [J]. *Journal of Fish Biology*, 1998, **53**: 198—208

## THE SPATIAL DISTRIBUTION OF *ANGUILLA JAPONICA* AND *ANGUILLA MARMORATA* IN THE PEARL RIVER

SHUAI Fang-Min, LI Xin-Hui, ZHU Shu-Li, WU Zhi, ZHANG Ying-Qiu,  
CHEN Wei-Tao and LIU Ya-Qiu

(Pearl River Fisheries Research Institute, CAFS, Guangzhou 510380, China)

**Abstract:** This study analyzed the resources status and spatial distribution of *Anguilla japonica* and *Anguilla marmorata* in the Pearl River based on the data collected from 2015 to 2017. A total of 41 *Anguilla japonica* individuals with the average age of  $(4.2 \pm 1.3)$  years were collected in these three years, and 93% individuals were sexually immature. A total of 12 *Anguilla marmorata* individuals with the average age of  $(4.3 \pm 1.0)$  years were collected and 83% individuals were sexually immature. *Anguilla japonica* could migrate to the Heshan section of the Hongshuihe River with the percentages in individuals and in weight both less than one percent. *Anguilla marmorata* could migrate to the Shilong section of the Xijiang River with an occurrence rate less than one in 200. This indicated that the wild *Anguilla* spp. resources in the Pearl River are extremely rare and need to be protected. Redundancy analysis shown that river fractals and river width play important roles in spatial distribution for *Anguilla japonica*, while river width and river depth play important roles for *Anguilla marmorata*. This study is a part of a long-term investigation for the wild *Anguilla* resources of the Pearl River, and the results could be instructive to the conservation and management of *Anguilla* resources.

**Key words:** *Anguilla japonica*; *Anguilla marmorata*; Resource; Spatial distribution pattern; Pearl River; RDA

### 《水生生物学报》编辑委员会

#### EDITORIAL BOARD OF ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA

主 编	Chief Editor	桂建芳	GUI Jian-Fang		
副主编	Associate Editor	解绶启	XIE Shou-Qi		
委 员	Members	(以姓氏拼音为序)			
蔡庆华	CAI Qing-Hua	曹文宣	CAO Wen-Xuan	常剑波	CHANG Jian-Bo
陈家宽	CHEN Jia-Kuan	陈宜瑜	CHEN Yi-Yu	陈毅锋	CHEN Yi-Feng
高坤山	GAO Kun-Shan	何舜平	HE Shun-Ping	胡征宇	HU Zheng-Yu
李文鑫	LI Wen-Xin	李钟杰	LI Zhong-Jie	林浩然	LIN Hao-Ran
刘永定	LIU Yong-Ding	麦康森	Mai Kang-Sen	聂 品	NIE Pin
曲久辉	QU Jiu-Hui	宋立荣	SONG Li-Rong	唐启升	TANG Qi-Sheng
王 丁	WANG Ding	吴灶和	WU Zao-He	吴振斌	WU Zhen-Bin
相建海	XIANG Jian-Hai	肖 伟	XIAO Wei	谢 平	XIE Ping
谢小军	XIE Xiao-Jun	熊邦喜	XIONG Bang-Xi	熊思岳	XIONG Si-Yue
徐旭东	XU Xu-Dong	杨先乐	YANG Xian-Le	于 丹	YU Dan
余其兴	YU Qi-Xing	游 力	YOU Li	张奇亚	ZHANG Qi-Ya
朱作言	ZHU Zuo-Yan	Harald Rosenthal (德国)			
编辑部	Editorial office	杜新征	Du Xin-Zheng	余 茜	YU Xi
				叶文娟	YE Wen-Juan