

doi: 10.7541/2020.098

珠江水系广西江段鱼类多样性空间分布特征

帅方敏¹ 李新辉¹ 何安尤² 刘乾甫¹ 张迎秋¹ 武智¹ 朱书礼¹

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380; 2. 广西壮族自治区水产科学研究院, 南宁 530021)

摘要: 研究对珠江水系广西江段15个站位的鱼类群落展开了调查, 共采集渔获物67985尾, 隶属于23科134种, 鲤形目种类(92种)最多, 占总数69%。采集到外来生物11种, 其中, 罗非鱼几乎遍布整个广西水域, 说明广西江段外来水生生物入侵严重。各江段以小型鱼类居多, 鱼类小型化严重。空间分布呈现一级河流物种多样性指数高, 均匀度高; 二级河流多样性指数低, 均匀度低的趋势。特别是经过十级水电开发后的红水河江段, 渔业资源量最低, 鱼类群落结构与其他江段具有显著的差异($P < 0.05$)。研究结果是珠江水系自然渔业资源长期调查的一部分, 将对广西渔业资源多样性的保护管理和可持续利用提供科学依据。

关键词: 珠江水系; 鱼类调查; 多样性; 空间分布; 非度量多维尺度分析方法

中图分类号: S932.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)04-0819-10

生物多样性的空间分布特征及其形成机制, 是生物多样性保护的核心问题之一^[1-4]。空间分布格局是物种与局域生境长期协同进化形成的一种适应性特征, 是环境对物种空间资源利用影响的集中反映^[5-7]。近年来, 随着新保护生物学的兴起和发展, 针对不同尺度保护对象(如种群、群落、生态系统等)的空间分析已成为生物多样性保护的一种重要研究手段^[8-10]。鱼类多样性空间分布特征研究在我国发展较晚, 但其重要性被越来越认可^[11-13]。同时, 近年来也取得了一些成就, 如Yan等^[14]通过对大别山皖河源溪流鱼类群落空间格局的研究, 发现鱼类物种数主要取决于局域栖息地条件。因此, 河流水系鱼类分布格局的研究, 对自然渔业资源保护和可持续利用具有重要意义。

广西地处祖国南疆, 位于珠江水系中上游, 跨越北热带、亚热带和中亚热带三个气候带, 岩溶地形发达, 江河纵横, 独特的气候环境形成了独特的生态环境, 是国内水生生物多样性最为丰富的地区之一, 也是全球生物多样性研究的热点地区, 并

且是我国重要淡水渔业生产基地和水生生物资源基因库^[15]。但是, 到目前为止, 除了在20世纪80年代对其境内水域进行一次渔业资源方面的调查研究外^[16], 关于其鱼类群落空间分布特征的研究未见报道。特别是近几十年来, 各种水利建设、环境污染等问题导致鱼类栖息地功能改变甚至丧失、渔业资源急剧减少^[17-19], 因此, 开展鱼类空间分布的相关研究是了解渔业资源现状及其形成原因的重要内容之一, 显得十分重要。

本研究根据2014—2018年珠江水系广西江段15个调查站位的渔获物及环境因子采集数据, 描述和分析广西江段鱼类多样性及群落结构的分布特征, 旨在了解目前鱼类群落多样性的现状, 为广西淡水鱼类的保护和可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样地域

珠江水系广西江段, 涉及红水河、西江等珠江干流和郁江、柳江等重要支流, 依据等距离及交通

收稿日期: 2019-05-30; 修订日期: 2020-03-01

基金项目: 广西水产遗传育种与健康养殖重点实验室开放基金(GXKEYLA2015-04); 国家自然科学基金面上项目(31870527); 广州市科技计划项目(201804010487); 中国东盟海上合作基金; 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)资助 [Supported by the Open Fund of Guangxi Key Laboratory of Aquatic Genetic Breeding and Healthy Aquaculture (GXKEYLA2015-04); National Natural Science Foundation of China (31870527); Science and Technology Program of Guangzhou, China (201804010487); China-ASEAN Maritime Cooperation Fund; Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2018SJ-ZH05)]

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

通信作者: 何安尤(1963—), 男, 主要从事水生生物多样性保护研究。E-mail: heanyou2000@aliyun.com

可达性,并结合传统渔获物采样等信息,共设15个采样点,几乎覆盖整个广西境内的重要水域。具体采样点信息及分布情况分别见表1和图1。

1.2 数据收集

2014—2016年期间,分别在每年3、6、9和11月对各采样站位进行调查采样。2017年由于珠

表 1 各采样点具位置信息表
Tab. 1 The coordinates of sample sites

站位Site	名称Name	经纬度Coordinate	所属江段Subordinate river	河流等级Order
S1	天峨县江段	108°52'22"E, 23°48'43"N	红水河	1
S2	大化县江段	107°59'16"E, 23°44'5"N	红水河	1
S3	合山市江段	110°04'19"E, 23°24'16"N	红水河	1
S4	百色市江段	106°37'12"E, 23°54'36"N	郁江	3
S5	扶绥县江段	107°55'12"E, 22°39'0"N	郁江	3
S6	南宁市江段	108°19'48"E, 22°50'24"N	郁江	2
S7	贵港市江段	109°36'0"E, 23°6'36"N	郁江	2
S8	三江县江段	109°34'48"E, 25°48'0"N	柳江	3
S9	融水县江段	109°14'24"E, 25°4'12"N	柳江	3
S10	柳州市江段	109°24'E, 23°19'48"N	柳江	2
S11	石龙镇江段	109°42'03"E, 24°33'12"N	柳江	2
S12	武宣县江段	109°39'36"E, 23°36'N	西江	1
S13	桂平江段	110°53'6"E, 23°21'46"N	西江	1
S14	藤县江段	112°27'33"E, 23°4'54"N	西江	1
S15	梧州市江段	111°20'24"E, 23°30'36"N	西江	1

江流域禁渔期的调整,2017—2018年期间在2、7、9和11月采样,每次采样点的采样时间为1d。调查采用的渔具为4种网具组合,即虾笼、定置刺网、抛网和流刺网。同时记录渔船作业时间和网具规格大小。采集到的鱼类样本经现场拍照后带回实验室进行鉴定、称重和测体长。种类鉴定参照广西淡水鱼类志^[16]与珠江鱼类志^[20]。

1.3 数据分析

非度量多维尺度分析方法(Nonmetric Multidimensional Scaling, NMDS)是一种基于样本间的距离或者相异性矩阵,在低维空间展示多维空间多元复杂数据结构的排序分析方法^[21],可以通过确定对象之间的位置关系来分析部分距离(或相似性)缺失的数据^[22]。基本原理是两个相似的对象由多维空间中两个距离相近的点表示,而两个不相似的对象则由多维空间两个距离较远的点表示,因此点间的距离与对象间的相似性高度相关^[23]。本研究将不同网具采集到的渔获物进行汇总,同时换算成单位时间和面积的渔获量后作为每个采样点的鱼类种群数据。采用Bray-Curtis相似度矩阵构建二维非度量多维标度分析鱼类群落空间分布特征。同时分析各采样点Shannon-Wiener指数(H')和物种均匀度指数(J')^[24]。所有分析通过R统计软件(版本3.31)及其“Vegan”、“Packfor”包而完成。

2 结果

2.1 物种组成

2014—2018年在广西江段15个采样点共采集渔获物67985尾,共鉴定134种,隶属于23科。鲤形目鱼



图 1 采样点示意图

Fig. 1 Sample sites

类最多, 共92种, 占总数69%, 其中鲤科鱼类81种, 明显占优势。其次是鲈形目, 共18种, 占总数11%, 其中鲮科9种最多。整个广西江段共采集到外来鱼类11种, 其中罗非鱼的数量比例最高, 达4.28%(表2)。

各江段优势种组成差异显著(表3)。小型鱼类鲮(*Hemiculter leucisculus*)和入侵鱼类罗非鱼(*Oreochromis* spp.)是整个广西流域共有的优势种。各江

段的优势种都是以小型鱼类居多, 特别是红水河江段, 几乎所有的优势种都为小型鱼类, 如子陵吻鲈(*Rhinogobius giurinus*)、鲮、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)等。鲤(*Cyprinus carpio*)只在西江江段、柳江和郁江为优势种, 其数量比例最高也只有3.81%, 曾经闻名全国的红水河大鲤鱼资源量已十分匮乏, 只占总渔获物的0.74%。中型鱼类赤眼鳟

表2 广西江段渔获物组成及其生态特征

Tab. 2 Fish species and their ecological characteristics in the Pearl River

种名Species	百分比Percentage (%)	营养位Trophicguild	类别Category	种名Species	百分比Percentage (%)	营养位Trophicguild	类别Category
鲤形目Cypriniformes				鲤形目Cypriniformes			
鲤科Cyprinidae				德国镜鲤Cyprinus carpio			
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	19.89	O	N;SE	<i>varspecularis Lacepede</i>	+	O	Non;SE
鲮 <i>Cirrhinus molitorella</i>	4.37	H	N;RL	鲮科Cobitidae			
赤眼鳟 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	3.52	O	N;RL	状体沙鳢 <i>Botia robusta</i>	1.66	D	N;SE
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	3.44	O	N;SE	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	1.44	D	N;SE
卷口鱼 <i>Ptychidio jordani</i>	2.91	I	E;SE	横纹条鳅	0.60	D	N;SE
南方拟鲮 <i>Pseudohemiculter dispar</i>	2.81	O	N;SE	<i>Noemacheilus fasciolatus</i>			
红鳍原鲮 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	2.20	P	N;SE	花斑副沙鳢 <i>Parabotia fasciata</i>	0.56	I	E;SE
鲤 <i>Carassius auratus</i>	1.86	O	N;SE	中华花鳢 <i>Cobitis sinensis</i>	0.21	I	N;SE
海南似鲮 <i>Toxabramis houdermeri</i>	1.84	O	N;SE	大斑薄鳢 <i>Leptobotia pellegrini</i>	0.07	I	N;SE
麦瑞加拉鲮 <i>Cirrhinus mrigala</i>	1.78	O	Non;SE	美丽小条鳅	+	D	N;SE
纹唇鱼 <i>Osteochilus salsburyi</i>	1.56	O	N;SE	<i>Micronoemacheilus pulcher</i>			
海南红鲮 <i>Erythroculter recurviceps</i>	1.27	P	N;SE	横纹南鳢 <i>Schistura fasciolatus</i>	+	I	N;SE
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	1.25	O	N;SE	平鳍鳅科Homalopteridae			
银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	1.08	I	N;RL	伍氏华吸鳅	0.01	I	N;SE
大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	1.06	H	N;SE	<i>Sinogastromyzon wui</i>			
大眼华鳢 <i>Sinibrama wui</i>	0.95	O	E;RL	爬岩鳅 <i>Beaufortia evertfi</i>	+	I	N;SE
蛇鳃 <i>Saurogobio dabryi</i>	0.89	I	N;SE	琼中拟平鳅	+	I	E;SE
广东鲂 <i>Megalobrama terminalis</i>	0.79	O	N;RL	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>			
福建小鳊	0.79	I	N;SE	鲈形目Perciformes			
鳊 <i>Microphysogobio fukiensis</i>				丽鱼科Cichlidae			
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	0.68	H	N;RL	罗非鱼 <i>Oreochromis</i> spp.	4.28	O	Non;SE
翘嘴红鲮 <i>Culter alburnus</i>	0.53	P	N;SE	鲈科Serranidae			
银鲃 <i>Xenocypris argentea</i>	0.55	H	N;RL	大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i>	1.03	P	N;SE
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	0.46	P	N;SE	斑鳊 <i>Siniperca scherzeri</i>	0.33	P	N;SE
银鲃 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	0.46	Pl.	N;SE	漓江鳊 <i>Siniperca loona</i>	+	P	E;SE
越南鳊 <i>Acheilognathus tonkinensis</i>	0.36	H	N;SE	中华少鳞鳊 <i>Coreoperca whiteheadi</i>	+	P	N;SE
高体鳊 <i>Rhodeus ocellatus</i>	0.34	O	N;SE	鳅科Channidae			
				斑鳅 <i>Channa maculata</i>	0.16	P	N;SE
				月鳅 <i>Channa asiatica</i>	0.06	P	N;SE
				乌鳅 <i>Channa argus</i>	0.03	P	N;SE
				宽额鳅 <i>Channa gachua</i>	+	P	N;SE

续表 2

种名Species	百分比 Percentage (%)	营养位 Trophic guild	类别 Category	种名Species	百分比 Percentage (%)	营养位 Trophic guild	类别 Category
花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i>	0.30	O	N;SE	塘鳢科Eleotridae			
宽鳍鱲 <i>Zacco platypus</i>	0.30	O	N;SE	尖头塘鳢 <i>Eleotris oxycephala</i>	0.07	P	N;SE
巴马拟缨 <i>Pseudocrossocheilus bamaensis</i>	0.28	H	E;SE	海南细齿塘鳢 <i>Philypnus chalmersi</i>	+	P	N;SE
唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	0.23	O	N;SE	斗鱼科Belontiidae			
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	0.21	I	N;RL	叉尾斗鱼 <i>Macropodus opercularis</i>	0.02	I	N;SE
圆吻鲮 <i>Distoechodon tumirostris</i>	0.21	D	N;RL	鰕鳅鱼科Gobiidae			
黄尾鲮 <i>Xenocypris davidi</i>	0.20	H	N;RL	子陵吻鰕鳅 <i>Rhinogobius giurinus</i>	10.04	P	N;SE
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	0.19	Pl.	N;SE	舌鰕鳅鱼 <i>Glossogobius giuris</i>	4.30	P	N;SE
四须盘鲷 <i>Discogobio tetrabarbatus</i>	0.19	I	E;SE	瑶山吻鰕鳅鱼 <i>Rhinogobius yaoshanensis</i>	+	P	N;SE
东方墨头鱼 <i>Garra orientalis</i>	0.18	H	N;SE	溪吻鰕鳅鱼 <i>Rhinogobius duospilus</i>	+	P	N;SE
三角鲤 <i>Cyprinus midtiaeniata</i>	0.16	O	N;SE	刺鲃科Mastacembelidae			
乐山小鲃	0.14	I	N;SE	大刺鲃 <i>Mastacembelus armatus</i>	2.41	I	N;SE
鲃 <i>Microphysogobio kiatingensis</i>				鲇形目Siluriformes			
南方白甲鱼 <i>Onychostoma gerlachi</i>	0.13	H	N;RL	鲃科Bagridae			
鲃 <i>Aristichthys nobilis</i>	0.11	Pl.	N;RL	粗唇鲃 <i>Leiocassis crassilabris</i>	4.70	P	N;SE
南方鰕鲇 <i>Gobiobotia meridionalis</i>	0.09	I	E;SE	斑鲃 <i>Mystus guttatus</i>	3.88	P	N;SE
露斯塔野鲮 <i>Labeo rohita</i>	0.07	D	Non;SE	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	2.92	P	N;SE
直口鲮 <i>Rectoris posehensis</i>	0.06	H	N;SE	瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	2.40	P	N;SE
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	0.09	H	N;RL	大鳍鲃 <i>Mystus macropterus</i>	1.11	P	N;SE
点纹银鲃 <i>Squalidus wolterstorffi</i>	0.05	O	N;SE	中间黄颡鱼 <i>Pelteobagrus intermedius</i>	0.06	P	N;SE
大眼红鲃 <i>Erythroculter hypselonotus</i>	0.04	P	N;SE	纵带鲃 <i>Leiocassis argentivittatus</i>	0.01	P	N;SE
似鲃 <i>Pseudogobio vaillanti</i>	0.05	I	N;SE	越鲃 <i>Mystus pluriradiatus</i>	+	P	N;SE
白甲鱼 <i>Onychostoma sima</i>	0.03	H	N;RL	长吻鲃 <i>Leiocassis longirostris</i>	+	P	N;SE
条纹小鲃 <i>Puntius semifasciolatus</i>	0.04	O	N;SE	长臀鲃科Cranoglanididae			
北江光唇鱼 <i>Acrossocheilus beijiangensis</i>	0.04	H	E;SE	珠江长臀鲃 <i>Cranoglanis boudierius</i>	0.11	P	E;SE
倒刺鲃 <i>Spinibarbus denticulatus</i>	0.03	O	N;RL	鲃科Ictaluridae			
胡鲃 <i>Huigobio chenhsienensis</i>	0.03	I	N;SE	斑点叉尾鲃 <i>Ictalurus punctatus</i>	0.08	O	Non;SE
细尾白甲鱼 <i>Onychostoma leptura</i>	0.02	H	N;RL	胡子鲇科Clariidae			
半鲮 <i>Hemiculterella wui</i>	0.02	O	N;SE	胡子鲇 <i>Clarias fuscus</i>	0.37	P	N;SE
光倒刺鲃 <i>Spinibarbus hollandi Oshima</i>	0.02	O	N;RL	革胡子鲇 <i>Clarias gariepinus</i>	0.15	P	Non;SE
达氏鲃 <i>Culter dabryi</i>	0.02	P	N;SE	鲇科Siluridae			
丁鲃 <i>Tinca tinca</i>	0.02	O	Non;SE	鲇 <i>Silurus asotus</i>	0.87	P	N;SE
大眼卷口鱼 <i>Ptychidio macrops</i>	0.02	I	E;SE	越鲇 <i>Silurus cochinchinensis</i>	0.05	P	N;SE
带半刺光唇鱼 <i>Acrossocheilus hemispinus</i>	0.02	H	N;SE	都安鲇 <i>Silurus duanensis</i>	0.01	P	E;SE
鲃 <i>Elopichthys bambusa</i>	0.02	P	N;RL	甲鲇科Loricariidae			
海南华鲃 <i>Sinibrama melrosei</i>	0.02	O	E;SE				

续表 2

种名Species	百分比 Percentage (%)	营养位 Trophicguild	类别 Category	种名Species	百分比 Percentage (%)	营养位 Trophicguild	类别 Category
福建纹胸鲃 <i>Glyptothorax fukiensis fukiensis</i>	0.01	I	N;SE	多辐翼甲鲃 <i>Pterygoplichthys multiradiatus</i>	+	O	Non;SE
兴凯鲮 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	0.01	H	N;SE	鲱形目Clupeiformes			
细鳊 <i>Rasborinus lineatus</i>	0.01	O	N;RL	鲢科Engraulidae			
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	0.01	H	Non;RL	七丝鲮 <i>Coilia grayii</i>	0.67	I	N;SE
长鳍光唇鱼 <i>Acrossocheilus iridescens</i>	0.01	H	E;SE	鳗鲡目Anguilliformes			
细身光唇鱼 <i>Acrossocheilus elongatus</i>	0.01	H	N;SE	鳗鲡科Anguillidae			
侧条光唇鱼 <i>Acrossocheilus parallens</i>	0.01	H	E;SE	日本鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	0.62	P	N;RS
蒙古红鲃 <i>Culter mongolicus</i>	0.01	I	N;SE	花鳗鲡 <i>Anguilla marmorata</i>	+	P	N;RS
瓢鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	0.01	O	N;SE	合鳃鱼目Synbranchiformes			
刺鳍鲃 <i>Rhodeus spinalis</i>	0.01	O	N;SE	合鳃鱼科Synbranchidae			
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	+	Pl.	N;RL	黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	0.75	I	N;RS
桂林鳅蛇 <i>Gobiobotia guilinensis</i>	+	O	E;SE	脂鲤目Characiformes			
虹彩光唇鱼 <i>Acrossocheilus iridescens</i>	+	H	N;SE	脂鲤科Characidae			
窄条光唇鱼 <i>Acrossocheilus stenotaeniatus</i>	+	H	N;SE	短盖巨脂鲤 <i>Colossoma brach ypomum</i>	+	O	Non;RS
宽头盘鲃 <i>Discogobio laticeps</i>	+	D	N;SE	上口脂鲤科Anostomidae			
短须鲃 <i>Acheilognathus barbatulus</i>	+	O	E;SE	小口脂鲤 <i>Prochilodus scyofa</i>	+	O	Non;RL
粗须白甲鱼 <i>Onychostoma barbata</i>	+	H	N;RL	鲃形目Tetraodontiformes			
柳城拟缨鱼 <i>Pseudocrossocheilus liuchengensis</i>	+	D	E;SE	鲃科Tetraodontidae			
台细鳊 <i>Rasborinus formosae</i>	+	O	N;SE	弓斑东方鲃 <i>Takifugu ocellatus</i>	0.03	P	N;RS

注: H. 植食性; I. 无脊椎动物食性; P. 肉食性; Pl. 浮游食性; D. 碎屑食性; O. 杂食性; E. 中国特有; N. 本土种; Non. 外来种; RS. 河海洄游; RL. 河湖洄游; SE. 定居性

Note: H. herbivore; I. invertivore; P. piscivore; Pl. planktivore; D. Detritivore; O. omnivore; E. endemic to China; N. native species; Non. Non-native species; RS. River-sea migratory; RL. River-lake migratory; SE. Sedentary

(*Squaliobarbus curriculus*)和鲢(*Cirrhinus molitorella*)在西江和郁江江段为优势种而广东鲂(*Megalobrama terminalis*)只 在西江江段为优势种。珠江“四大名鲂”(鲃、嘉、鳊、鲃)中的卷口鱼(*Ptychidio jordani*, 嘉)、大眼鳊(*Siniperca kneri*, 鳊)和斑鳊(*Mystus guttatus*, 鲃)都还具有一定的资源量, 其中大眼鳊(鳊)主要分布于柳江下游和西江江段, 卷口鱼(嘉)主要分布于西江江段和郁江江段, 斑鳊(鲃)则主要分布于西江江段、柳江江段和郁江江段, 花鲃(*Lateolabrax japonicus*, 鲃)原本主要分布于广东江段。在广西江段, 只在梧州江段采集到 11 尾。罗非鱼几乎遍布整个广西水域, 这说明珠江流域广西江段外来水生生物入侵严重。

2.2 鱼类多样性与分布特点

对广西流域鱼类多样性进行分析后发现(图 2),

鱼类Shannon-Wiener多样性指数值为1.42—2.97。各江段Shannon-Wiener多样性指数变化较大, 最大值出现在西江桂平至柳江柳州江段, 最小值出现在北江百色江段和郁江贵港江段。各江段物种均匀度指数变化相对较小, 最高值出现在西江梧州至藤县江段和柳江三江至融水江段, 最低值出现在红水河天峨江段和郁江贵港江段。空间上总体呈现出一级河流物种多样性高, 均匀度高, 二级河流多样性指数低, 均匀度低的趋势。

2.3 鱼类群落结构空间分布特征

非度量多维尺度分析结果显示, 广西江段的鱼类群落结构在空间上可分为4组(图 3), 通过Bray-Curtis不相似矩阵提取离散组以量化各江段之间的组成差异, 发现各江段之间虽然具有一定的空间自相关, 但总体上仍具有显著的差异。不同组间用不

同的符号和颜色区分。组1由红水河的天峨、大化和合山江段组成,该组江段水电站建设较多,鱼类群落结构与其他组具有显著的差别。组2由西江江段的武宣、桂平、藤县、梧州及柳江下游的石龙江段组成。组3由柳江中上游的三江、融水和柳州江段组成。组4则由郁江的扶绥、南宁、贵港和百色组成。

各组之间的物种数差异并不大,除了组3(柳江上游江段)具有最低的物种数外,而各组之间的渔业资源量具有显著的差异($P<0.001$)。组2(西江江

段)具有最高的物种数和生物量,组1和组3具较低的生物量,其中红水河最低(图 4)。

3 讨论

1981—1983年,广西水产科学研究院对广西境内进行过渔业资源与环境调查,在广西江段共采集到鱼类209种,隶属于14目33科。广西各江段中以鲤科鱼类最多,共计120种,占总种类数57%^[25]。通过此次调查,发现广西江段鱼类组成与结构发生了较大变化,主要表现为:

表 3 各调查江段鱼类群落的优势种(数量百分比, %)

Tab. 3 Composition of five dominant species among sites in the Guangxi section of the Pearl River (percentage of quantity)

种名Species	红水河 Hongshuihe	西江 Xijiang	柳江 Liujiang	郁江 Yujiang	种名Species	红水河 Hongshuihe	西江 Xijiang	柳江 Liujiang	郁江 Yujiang
一 鲤形目 Cypriniformes					(8)雅罗鱼亚科 Leuciscinae				
(一)鲤科					赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>		6.98		3.06
(1)鲮亚科 Acheilognathinae					(二)鲃科 Cobitidae				
大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	7.14				(1)条鲃亚科 Noemacheilinae				
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	2.31				横纹条鲃 <i>Schistura fasciolatus</i>			2.5	
(2)鮡亚科 Cultrinae					(三)沙鲃亚科 Botiinae				
鮡 <i>Hemiculter leucisculus</i>	12.86	9.99	3.18	34.79	状体沙鲃 <i>Botia robusta</i>			4.27	
南方拟鮡 <i>Pseudohemiculter dispar</i>		2.93	2.13		花斑副沙鲃 <i>Parabotia fasciata</i>			2.79	
红鳍原鮡 <i>Cultrichthys erythropterus</i>				4.91	二 鲈形目 Perciformes				
海南红鮡 <i>Culter recurviceps</i>		3.88			(一)鲈科 Serranidae				
大眼华鲮 <i>Sinibrama macrops</i>			4.8		大眼鲈 <i>Siniperca kneri</i>			3.12	
广东鲮 <i>Megalobrama terminalis</i>		2.73			(二)丽鱼科 Cichlidae				
海南似鲮 <i>Toxabramis houdemeri</i>	5.25	3.84			罗非鱼 <i>Oreochromis</i> spp.	2.85	4.61	2.41	4.37
(3)鲤亚科 Cyprininae					(三)鰕鳊鱼科 Gobiidae				
鲫 <i>Carassius auratus</i>		3.57			子陵吻鰕鳊鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	25.76		2.86	12.16
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>		3.61	2.75	3.81	(四)刺鲃科 Mastacemblidae				
(4)鲃亚科 Gobioninae					大刺鲃 <i>Mastacembla armatus</i>			5.12	
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	6.47				四 鲇形目 Siluriformes				
蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>			2.27		(一)鲇科 Bagridae				
(5)鲃亚科 Barbinae					斑鲇 <i>Hemibagrus guttatus</i>		4.18	4.32	3.67
倒刺鲃 <i>Spinibarbus denticulatus</i>	2.31				黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	5.31	4.23		
(6)鲢亚科 Hypophthalmichthyinae					瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>		3.23	2.51	
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>					粗唇鲇 <i>Leiocassis crassilabris</i>		6.07	14.1	
(7)野鲮亚科 Labeoninae					(二)鲇科 Siluridae				
鲮 <i>Cirrhinus molitorella</i>		9.62		2.18	鲇 <i>Silurus asotus</i>			2.31	
纹唇鱼 <i>Osteochilus salsburyi</i>	5.63	2.93			(三)鮠科 Sisoridae				
卷口鱼 <i>Ptychidio jordani</i>		3.09		3.38	福建纹胸鮠 <i>Glyptothorax fukiensis fukiensis</i>			4.75	

(1) 鱼类种类及资源量减少。本次调查只采集到淡水鱼类134种, 虽然调查次数有限, 但是根据物种数多, 被采集到的频率大这一原则^[10], 说明整个广西江段种类与资源量减少。1974—1982年间, 广西江段的鱼产量约为 $\times 10^6$ kg/年。而这次实地调查, 在渔业资源最为丰富的桂平江段, 渔民单船产量CPUE最高峰也不足50 kg。近年来, 渔业资源衰退, 鱼产量下降的趋势在某些江段特别明显。红水河江段曾经是广西淡水鱼的主产区, 如今其渔业资源量在整个广西江段最低, 闻名全国的“红水河大鲤鱼”已很难觅其踪迹, 鲤在红水河渔获物的比例只有0.75%。三角鲤曾经遍布整个广西流域, 在近4年的调查中也只是偶尔见到, 濒危鱼类乌原鲤(*Pro-*

cypris merus)在近年的调查中只采集到1尾。龙州鲤(*Cyprinus longzhouensis*)则未采集到。贵港江段鱼类多样性及渔业资源量较低, 在该江段4年间只采集到48种鱼类, 而外来种就有8种, 说明该江段受到外界影响严重。有史料记载, 草鱼、倒刺鲃、长臀鲃原为广西各江段的主要经济种类^[15], 而在本次调查中, 其整个渔获物中比例分别只有0.86%、0.03%和0.09%。曾经在整个广西江段都能采集到的珍贵经济鱼类唇鲮(*Semilabeo notabilis*)则未采集到。

(2) 洄游鱼类减少, 其洄游路线缩短。据记载, 在西江广西段、红水河江段都分布有鲮(*Tenualosa reevesii*)、七丝鲮(*Coilia grayi*)、日本鳊鲮(*Anguilla japonica*)、三线舌鲮(*Cynoglossus trigram-*

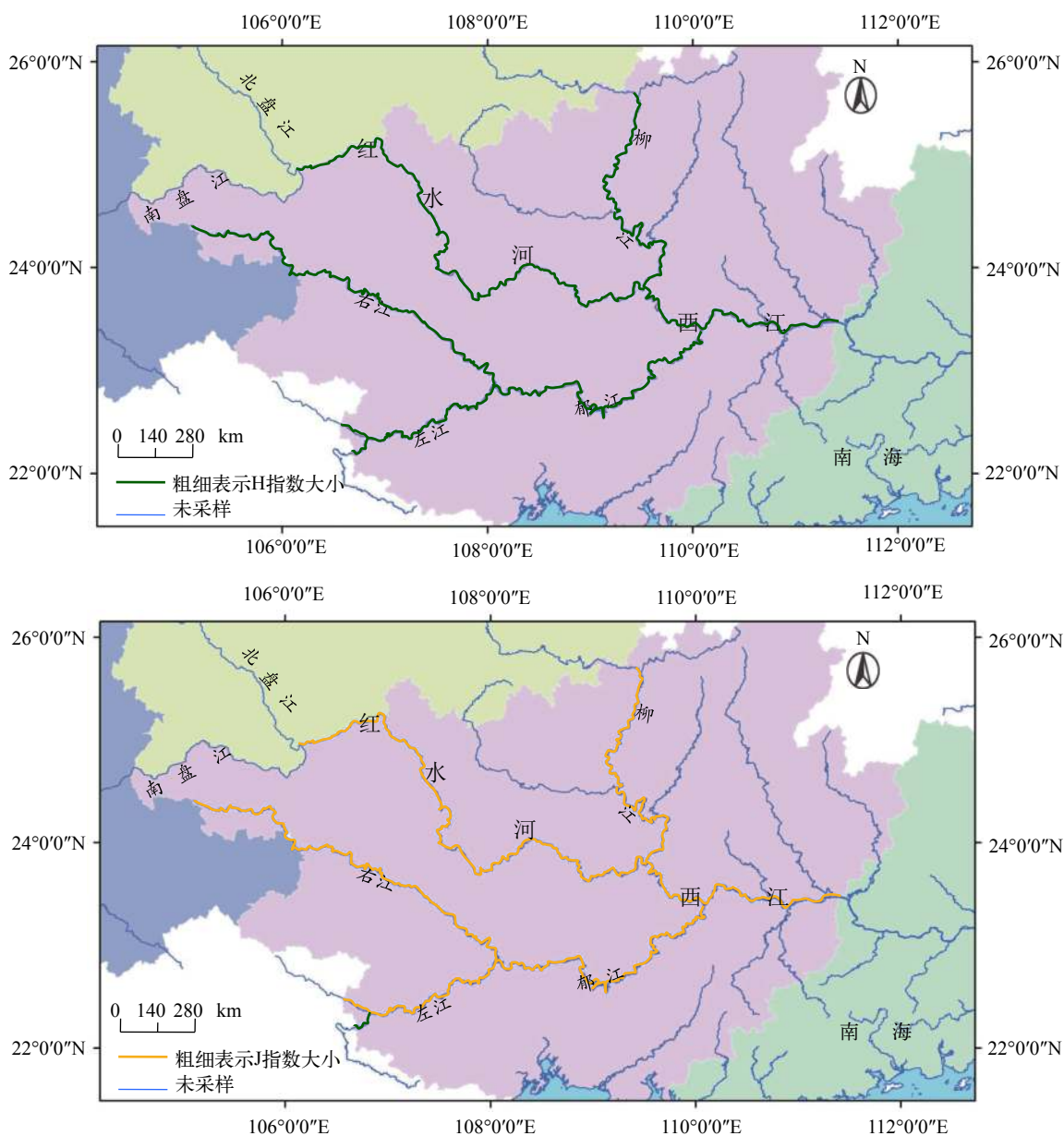


图2 珠江流域广西江段鱼类群落物种多样性、均匀度指数空间分布

Fig. 2 The value of Shannon-Wiener (H) and species evenness (J) of fish communities in the Guangxi section of the Pearl River

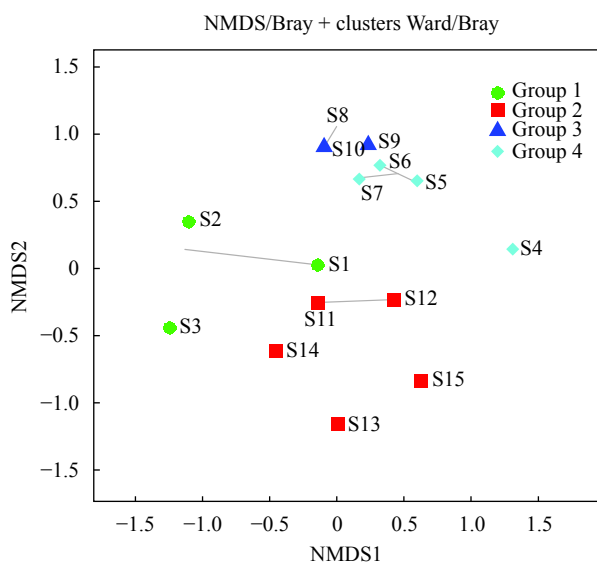


图3 珠江流域广西江段鱼类群落结构空间排序分布

Fig. 3 Ordination of 15 fish sampling sites in a two-dimensional non-metric multidimensional scaling configuration. A dendrogram was used to illustrate the clustering of groups. Symbols denote respective groups

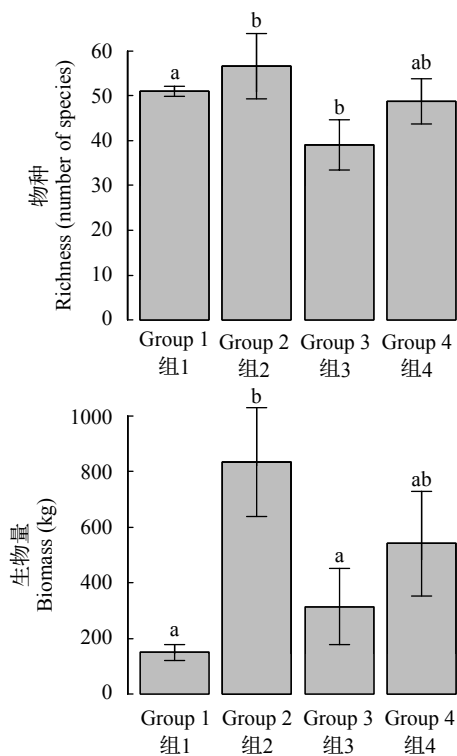


图4 珠江流域广西江段每组内渔业资源量及物种数

Fig. 4 Species richness and biomass

mus)、弓斑东方鲀(*Takifugu ocellatus*)等洄游性鱼类^[10, 25-26]。在本次调查中,除七丝鲮、日本鳊在广西江段还具有一定的资源量外,弓斑东方鲀属偶见种,鲢、三线舌鳎已经多年未采集到。然而,历

史记载花鳊只分布于广东江段^[25],本次在广西西江江段、柳江都采集到花鳊。

(3)外来水生生物严重入侵。外来种罗非鱼已经遍布整个广西流域,在各江段成为优势种。广东地处珠江中下游,是罗非鱼养殖主产区,罗非鱼从养殖水体逃逸后,扩散到珠江水系^[27, 28]。虽然广西江段的水温比广东江段稍低,但是,有报道水温不是罗非鱼种群扩散的限制因子^[29],因此,紧挨广东的广西江段已是我国罗非鱼入侵的高危地区。

在没有外界干扰的情况下,鱼类群落的空间分布特征主要是由于各种自然环境因子在空间尺度上的差异引起^[20-32]。然而,近年来由于人类活动的影响,对鱼类空间分布的干扰已远远超过自然环境因子的影响,因此鱼类空间分布特征已不再遵守贝格曼法则,如水产养殖会增加原有鱼类的体型大小,过度捕捞又会降低鱼类体型大小等^[33, 34]。其中,人类活动对河流鱼类空间分布最严重的影响之一就是大量水电站的建设。截止目前,整个广西江段已建成装机容量大于100 MW的水电站就有20座,占整个珠江水系大型水电站的62%^[10],其中,红水河江段更是经历了十级大型水利枢纽开发,如天生桥水电枢纽的逐步建成,500 km左右的江段上,总装机容量达到了11500 MW。这些水电枢纽的建设与运行不仅阻隔了鱼类的洄游通道,更影响了鱼类产卵场及栖息地的水文环境,从而导致了鱼类空间分布特征的改变及资源量的减少^[35, 36]。除此之外,长期以来,珠江流域广西江段电拖网捕鱼屡禁不止,导致捕捞没有选择性、渔获物中小杂鱼的比重不断增加,由此造成了渔业资源锐减^[10, 37]。

参考文献:

- [1] Chapin F S III, Zavaleta E S, Eviner V T, *et al.* Consequences of changing biodiversity [J]. *Nature*, 2000, **405**(6783): 234-242.
- [2] Abrams P M. Monotonic or unimodal diversity productivity gradients: what does competition theory predict [J]. *Ecology*, 1995, **76**(7): 2019-2027.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Wang Z S, Chen M H, Lü C, *et al.* Species diversity and spatio-temporal distribution patterns of icefishes

- (Salangidae) in Poyang Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, **26**(5): 1337-1344. [王忠锁, 陈明华, 吕偲, 等. 鄱阳湖银鱼多样性及其时空格局 [J]. *生态学报*, 2006, **26**(5): 1337-1344.]
- [6] Liu X X, Wang J, Zhang Y L, *et al.* Comparison between two GAMs in quantifying the spatial distribution of *Hexagrammos otakii* in Haizhou Bay, China [J]. *Fisheries Research*, 2019(218): 209-217.
- [7] Rubec P J, Santi C, Ghile Y, *et al.* Modeling and mapping to assess spatial distributions and population numbers of fish and invertebrate species in the lower Peace River and Charlotte Harbor, Florida [J]. *Marine and Coastal Fisheries*, 2019, **11**(4): 328-350.
- [8] Sharma S, Legendre P, Caceres 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): 762-771.
- [9] Fei J H, Wang X Z, Shao X Y. Spatial pattern of fish community in the Erhai Lake [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, **36**(8): 1225-1233. [费骥慧, 汪兴中, 邵晓阳. 洱海鱼类群落的空间分布格局 [J]. *水产学报*, 2012, **36**(8): 1225-1233.]
- [10] Shuai F M, Li X H, Liu Q F, *et al.* Spatial patterns of fish diversity and distribution in the Pearl River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(9): 3182-3192. [帅方敏, 李新辉, 刘乾甫, 等. 珠江水系鱼类群落多样性空间分布格局 [J]. *生态学报*, 2017, **37**(9): 3182-3192.]
- [11] Hu J H, Hu H J, He M Y, *et al.* Fish species diversity and its spatio-temporal variation west Dongting Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, **15**(4): 434-441. [胡军华, 胡慧建, 何木盈, 等. 西洞庭湖鱼类物种多样性及其时空变化 [J]. *长江流域资源与环境*, 2006, **15**(4): 434-441.]
- [12] Li S F, Cheng J H, Yan L P. Spatial structures of fish communities on the continental shelf of the East China Sea [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, **27**(11): 4377-4386. [李圣法, 程家骅, 严利平. 东海大陆架鱼类群落的空间结构 [J]. *生态学报*, 2007, **27**(11): 4377-4386.]
- [13] Zhang X L, Shen H B, Li Y D. Research on fish species diversity in Ningxia-Inner Mongolia Section of Yellow River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, **32**(4): 58-62. [张星朗, 沈红保, 李引娣. 黄河宁蒙段鱼类多样性研究 [J]. *水生态学杂志*, 2011, **32**(4): 58-62.]
- [14] Yan Y Z, Xiang X Y, Chu L, *et al.* Influences of local habitat and stream spatial position on fish assemblages in a dammed watershed, the Qingyi Stream, China [J]. *Ecology of Freshwater Fish*, 2011, **20**(2): 199-208.
- [15] Guangxi Academy of Fishery Sciences. Investigation Report on Fishery Natural Resources in Inland Waters of Guangxi [M]. Nanning: Guangxi Academic of Fishery Sciences, 1984: 390-393. [广西壮族自治区水产研究所. 广西壮族自治区内陆水域渔业自然资源调查研究报告 [M]. 南宁: 广西水产研究所, 1984: 390-393.]
- [16] Guangxi Academy of Fishery Sciences, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences. Freshwater Fish Flora of Guangxi (2nd Edition) [M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House. 2006: 9-10. [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) [M]. 南宁: 广西人民出版社, 2006: 9-10.]
- [17] 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.
- [18] Svendsen J C, Alstrup A K O, Jensen L F. World Heritage Site fish faces extinction [J]. *Nature*, 2018, **556**(7700): 174-174.
- [19] Dureuil M, Boerder K, Burnett, K A, *et al.* Elevated trawling inside protected areas undermines conservation outcomes in a global fishing hot spot [J]. *Science*, 2018, **362**(6421): 1403.
- [20] Zheng C Y. Fish fauna of the Pearl River [M]. Beijing: Science Press, 1989: 32-377. [郑慈英. 珠江鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 32-377.]
- [21] Legendre P, Legendre L F J. Numerical Ecology. Third English edition [M]. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands. 2012: 289-307.
- [22] Kilroy C, Larned S T, Biggs B J F. The non-indigenous diatom *Didymosphenia geminata* alters benthic communities in New Zealand rivers [J]. *Freshwater Biology*, 2009, **54**(9): 1990-2002.
- [23] Matthaei C D, Piggott J J, Townsend C R. Multiple stressors in agricultural streams: interactions among sediment addition, nutrient enrichment and water abstraction [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2010, **47**(3): 639-649.
- [24] Ma K P, Liu Y M. Measuring methods of biodiversity I: Measuring methods of alpha diversity (II) [J]. *Chinese Biodiversity*, 1994, **2**(4): 231-239. [马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测定方法 I: α 多样性的测度方法(下) [J]. *生物多样性*, 1994, **2**(4): 231-239.]
- [25] Lu K X. Fishery Resources of Pearl River System [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1990: 91-92. [陆奎贤. 珠江水系渔业资源 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1990: 91-92.]
- [26] Shuai F M, Li X H, Zhu S L, *et al.* Spatial distribution patterns of *Anguilla japonica* and *Anguilla marmorata* in the Pearl River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(4): 847-852. [帅方敏, 李新辉, 朱书礼, 等. 珠江水系鳗鲡资源空间分布特征研究 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(4): 847-852.]
- [27] Tan X C, Li X H, Li Y F., *et al.* Early development and spatial distribution of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the Pearl River [J]. *Journal of Biosafety*, 2012, **21**(4): 295-299. [谭细畅, 李新辉, 李跃飞, 等. 尼罗罗非鱼早期发育形态及其在珠江水系的空间分布 [J]. *生物安全学报*, 2012, **21**(4): 295-299.]
- [28] Gu D E, Mu X D, Luo D, *et al.* The study of population establishment of tilapia in main rivers in Guangdong

- Province, China [J]. *Journal of Biosafety*, 2012, **21**(4): 277-282. [顾党恩, 牟希东, 罗渡, 等. 广东省主要水系罗非鱼的建群状况 [J]. *生物安全学报*, 2012, **21**(4): 277-282.]
- [29] Shuai F M, Li X H, Li Y F, *et al.* Forecasting the invasive potential of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a large subtropical river using an univariate approach [J]. *Fundamental and Applied Limnology*, 2015, **187**(2): 165-176.
- [30] Oberdorff T, Hugueny B, Vigneron T. Is assemblage variability related to environmental variability? An answer for riverine fish [J]. *Oikos*, 2001, **93**(3): 419-428.
- [31] Pyron M, Lauer T E. Hydrological variation and fish assemblage structure in the middle Wabash River [J]. *Hydrobiologia*, 2004, **525**(1-3): 203-213.
- [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] Allen A P, Gillooly J F. Assessing latitudinal gradients in speciation rates and biodiversity at the global scale [J]. *Ecology Letter*, 2006, **9**(8): 947-954.
- [34] Blanchet S, Grenouillet G, Beauchard O, *et al.* Non-native species disrupt the worldwide patterns of freshwater fish body size: implications for Bergmann's rule [J]. *Ecology Letters*, 2010, **13**(4): 421-431.
- [35] Tan X C, Li X H, Lek S, *et al.* Annual dynamics of the abundance of fish larvae and its relationship with hydrological variation in the Pearl River [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2010, **88**(3): 217-225.
- [36] Liang X H, Liu J, Lei W D. Analysis on implementation and effectiveness of fish conservation measures for water conservancy and hydropower projects in Guangxi [J]. *Hongshui River*, 2013, **32**(3): 35-39. [梁晓华, 刘杰, 雷卫东. 广西水利水电建设项目鱼类保护措施落实情况及效果分析 [J]. *红水河*, 2013, **32**(3): 35-39.]
- [37] Shuai F M, Li X H, Huang Y F, *et al.* Resources status and spatial distribution characteristics of four major Chinese carps in the Pearl River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, **41**(6): 172-180. [帅方敏, 李新辉, 黄艳飞, 等. 珠江水系四大家鱼资源现状及空间分布特征研究 [J]. *水生生物学报*, 2017, **41**(6): 172-180.]

FISH DIVERSITY AND DISTRIBUTION PATTERN OF THE PEARL RIVER SYSTEM IN GUANGXI

SHUAI Fang-Min¹, LI Xin-Hui¹, HE An-You², LIU Qian-Fu¹, ZHANG Ying-Qiu¹, WU Zhi¹ and ZHU Shu-Li¹

(1. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Aquatic Genetic Breeding and Healthy Aquaculture, Guangxi Academy of Fishery Sciences, Nanning 530021, China)

Abstract: Guangxi Province is located in the southern China and the upper and middle reaches of the Pearl River. It spans north tropical, south subtropical and central subtropical regions. The diversity of habitats in these regions promotes high fish species diversity. However, considering the reduction of global fishery resources due to numerous anthropogenic stressors, especially the over-construction of dams, studies on the spatial distribution of fish communities are limited and urgently needed. This study investigated fish diversity and distribution patterns of the Pearl River in Guangxi based on an investigation of 15 sample sites. A total of 67985 individual fishes were collected during the study period, including 134 taxa representing 23 families. The Cypriniformes order, representing 92 taxa, accounted for 69% of the total fish collected. A total of 11 non-native species were collected, of which tilapia was the highest abundant, almost all over the Guangxi. This suggests that the invasion of non-native species is serious in the Pearl River in Guangxi, and fish miniaturization is also serious. Significantly higher species diversity and evenness were recorded in the first order streams, and low species diversity and low evenness were recorded in the second order streams. The spatial variation in fish assemblages were significantly different in different river sections ($P < 0.05$), such as the Hongshuihe River section with the lowest fishery resources. A comparison with historical data revealed that fish species have decreased sharply and the spatial distribution of fish communities has changed significantly. The present study is part of a long-term investigation of the Pearl River's wild fishery resources. Therefore, understanding processes outlined in this study will help protect the diversity of fish communities, which is critical to the sustainability of fish diversity of the Pearl River in Guangxi Province.

Key words: Pearl River system; Fish survey; Diversity; Spatial distribution pattern; NMDS