



胶州湾鱼类生物量粒径谱特征

徐姗楠¹, 郭建忠^{1,2}, 陈作志¹, 张 魁¹, 许友伟¹, 李纯厚^{1*}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室,
广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300;

2. 中国海洋大学水产学院, 渔业海洋学实验室, 山东 青岛 266003)

摘要: 为了解胶州湾海域鱼类群落粒径结构特征, 本研究根据2016—2017年4次底拖网调查数据构建了胶州湾鱼类生物量粒径谱, 比较分析了各季节鱼类生物量粒径谱特征参数的异质性。结果显示, 胶州湾Sheldon型鱼类生物量粒径谱呈现单峰模式, 鱼类粒径范围为-3~10粒径级, 粒径分布相对均匀, 且峰值位于5~6粒径级, 主要由大泷六线鱼和褐菖鲉等小型鱼类构成。各季节鱼类标准化生物量粒径谱曲率和曲度差异显著, 其中春季曲率最大且曲线较平缓, 夏季曲率最小且曲线相对陡峭。谱线曲度和曲率的季节变化主要与粒径小的细纹狮子鱼、大泷六线鱼、玉筋鱼及长丝虾虎鱼等地方常栖性种类和赤鼻棱鲷、白姑鱼等季节洄游性种类的出现有关。Abundance-biomass comparison(ABC)曲线表明, 春季处于未干扰状态, 冬季处于中度干扰状态, 夏秋季处于严重干扰状态。研究表明, 胶州湾鱼类群落总体处于严重干扰状态, 鱼类生物量谱呈现单峰型, 粒径结构以小型粒径鱼类为主, 且地方常栖性和季节洄游性鱼类等补充群体的数量和粒径大小影响鱼类生物量粒径谱的峰型和曲率。

关键词: 鱼类; 生物量粒径谱; ABC曲线; 人类活动; 胶州湾

中图分类号: S 931

文献标志码: A

粒径谱(size spectrum)表示的是生物量或者生物数量与粒径大小关系的曲线, 其概念最早是由Sheldon和Parsons于1967年提出, 之后50年间粒径谱理论得到了迅速发展, 出现了多种粒径谱变形, 比如生物量谱、丰度谱、长度谱、颗粒粒径谱和能量粒径谱等, 统称为粒径谱^[1-3]。粒径谱是研究生态系统特征的一个重要途径, 它不仅能够从宏观上研究生态系统的粒径结构、动态和影响机制^[4], 而且能够比较不同生态系统的特征^[3]、评估生物群落的生产力与生物量以及人类活动(尤其是捕捞)和环境变化对生态系统的影响等^[5-6], 已经成为当今生态系统研究尤其是水生生态系统研究的热点^[7]。数据的缺失和

资源量的减少对于多鱼种群落的研究常常具有一定的限制, 而粒径谱方法有别于常规的生物学分类方法, 可以简单地通过鱼类丰度或生物量数据来研究鱼类群落结构特征, 对评估群落整体的粒径结构有显著的作用, 尤其是当物种鉴定的可靠性不确定时或进行调查的资源有限时, 该方法在评估鱼类群落结构组合状况方面具有价值^[8]。

胶州湾是青岛的“母亲河”, 位于山东半岛南部、黄海西部, 轮廓形似喇叭, 是我国北方典型的半封闭海湾。胶州湾海岸线曲折、资源丰富, 是鱼类产卵、索饵和育肥的优良场所。然而, 随着社会经济迅速发展, 人类活动和自

收稿日期: 2018-08-31 修回日期: 2018-11-26

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900902); 国家“九七三”重点基础研究发展计划(2015CB452904)

通信作者: 李纯厚, E-mail: scslch@vip.163.com

然扰动对胶州湾生态系统造成破坏, 生物多样性水平和资源量明显下降, 鱼类小型化和低值化趋势明显^[9]。20世纪80年代至今, 我国对胶州湾鱼类群落及生物资源的研究已有大量的报道^[9-13], 但大多是基于分类学等常规研究方法, 而用粒径谱方法来研究胶州湾鱼类群落特征却未见报道。本研究根据2016—2017年4次底拖网调查所获鱼类样品, 构建了胶州湾鱼类生物量粒径谱, 以期对胶州湾生态保护和渔业资源的可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查站位

调查海域为胶州湾海域, 结合其地形和利用现状, 调查在湾内海域和湾外海域共设置9个站点进行海洋生态和渔业资源调查(图1)。海洋生态环境和渔业资源现场调查、采样、样品保存和实验室分析测试等均按《海洋监测规范》(GB 17378.3-2007)^[14]、《海洋调查规范》(GB/T 12763.9-2007)^[15]、《近岸海域环境监测规范》(HJ 442-2008)^[16]和《海洋渔业资源调查规范》^[17](SC/T 9403-2012)执行。

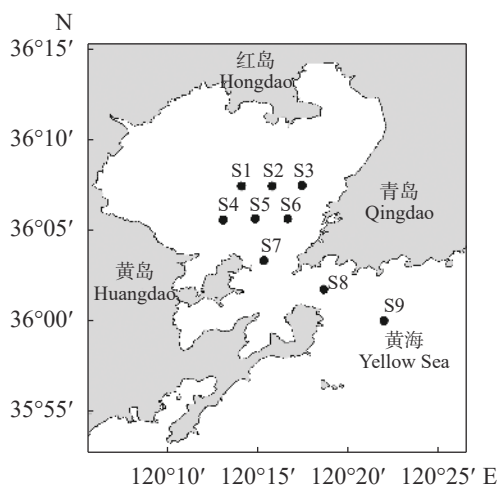


图1 胶州湾海域站位采样示意图

Fig. 1 Map of sampling stations in the Jiaozhou Bay

1.2 采样时间与方法

采样时间为2016年1月、4月、11月和2017年8月, 分别代表冬、春、秋和夏季。利用中国水产科学研究院黄海水产研究所“黄海星”号科学调查船进行海洋渔业资源调查, 其中, 春季7个站位(无S3和S8站)、夏季8个站位(无S6站)、秋季

9个站位和冬季7个站位(无S3和S5站), 每个站位拖网1次, 每次拖1 h, 平均拖速为3.0 kn。渔获物在现场进行分类鉴定, 并对各个生物种类进行渔业生物学测定。采样及样品分析均按照《海洋生物调查》^[18]进行。渔获物的种类鉴定与分类标准主要依据刘瑞玉^[10]、成庆泰等^[19]和Nelson^[20]等分类系统进行。

1.3 研究方法

Abundance-biomass comparison (ABC)曲线 Warwick于1986年提出用ABC曲线法来探究生物群落受人类活动干扰的状态, 随后该方法逐步应用于渔业研究领域。通过比较同一坐标系中生物量优势度曲线和数量优势度曲线的变化趋势来分析群落的状态^[21]。ABC曲线在经典的r-选择和k-选择进化理论中具有理论背景, 主要分为未干扰、中等干扰和严重干扰3种状态。其中, 未干扰状态下, 生物群落被k-选择的物种主导, 以生长慢且性成熟晚的大型物种为主, 数量优势度曲线低于生物量优势度曲线; 中等干扰状态下, 二者相交; 严重干扰状态下, 群落被r-选择物种主导, 以生长快且性成熟早的小型物种为主, 数量优势度曲线高于生物量优势度曲线^[21]。以所有站位物种总数据作为样本来拟合各季节ABC曲线, 用 W 值表示生物量与数量的相对关系统计量(W)^[22]:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{(B_i - A_i)}{50(S-1)}$$

式中, A_i 和 B_i 分别为ABC曲线中种类序号 i 对应的数量和生物量的累积百分比, S 为物种种类数。

鱼类生物量粒径谱 鱼类生物量粒径谱的粒径间隔以2为公比成等比数列增长, 将鱼类按照大小分成不同的粒径级^[23]。鱼类Sheldon型生物量粒径谱是以 $\log_2$ 转换的粒径级上限值作为横坐标, 以 $\log_2$ 转换的单位面积上(m^2)对应的总生物量作为纵坐标, 用平滑曲线将各个散点连接起来形成的“峰型”来反映鱼类群落结构特征^[1]。鱼类标准化生物量粒径谱(normalized biomass size spectrum, NBSS)将以 $\log_2$ 转换的粒径级上限值作为横坐标, 以 $\log_2$ 转换的单位面积上(m^2)对应的生物量与粒径间隔宽度的比值为纵坐标, 使得鱼类生物量(资源密度)的大小分布在粒径间隔上是独立的、连续的且可被评估的^[24]。群落稳定时, 粒径谱图形呈线性且理论斜率为-1^[1, 11]; 群

落不稳定时,图形呈现穹顶抛物线型^[25-26],且斜率或曲率的大小与海域的生产状况^[27]、鱼类粒径大小^[7]、捕捞强度^[28]及栖息地环境^[25]等因素有关。

1.4 数据分析

调查数据经标准化校正后,用ArcGis 10.3软件和SPSS 19.0统计软件进行处理。

2 结果

2.1 物种组成

共鉴定鱼类物种46种,隶属2纲、10目、30科、41属,以硬骨鱼纲(Osteichthyes)鱼类占绝对优势(45种),占总物种数的97.83%,软骨鱼纲(Chondrichthyes)鱼类1种,占总物种数的2.17%。其中,鲈形目(Perciformes)种类数最多,其次为鲉形目(Scorpaeniformes)和鲷形目(Pleuronectiformes)。鱼类群落优势种组成主要以赤鼻棱鲷(*Thryssa kammalensis*)、褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)、褐牙鲷(*Paralichthys olivaceus*)、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)和矛尾虾虎鱼(*Chaemrichthys stigmatias*)等粒径小的鱼类为主。其中,赤鼻棱鲷的数量和生物量百分比分别为54.14%和4.60%;褐菖鲉的数量和生物量百分比分别为5.78%和24.54%;褐牙鲷的数量和生物量百分比分别为0.46%和14.07%;大泷六线鱼的数量和生物量百分比分别为2.14%和4.60%;许氏平鲷的数量和生物量百分比分别为1.16%和3.96%;矛尾虾虎鱼的数量和生物量百分比分别为3.91%和2.01%。

2.2 ABC曲线

胶州湾海域全年鱼类群落生物量优势度曲线位于数量优势度曲线下方,处于严重干扰状态(图2), W 值为-0.10,且ABC曲线存在显著的季节差异(图3),春冬季鱼类群落结构优于夏、秋季。其中,春季生物量优势度曲线位于数量优势度曲线上方,鱼类群落处于未干扰状态;夏、秋季生物量优势度曲线均位于数量优势度曲线下方,鱼类群落处于严重干扰状态;冬季,生物量优势度曲线与数量优势度曲线相交,鱼类群落处于中度干扰状态。4个季节生物量与数量的 W 值依次为0.18、-0.26、-0.21和-0.01。

胶州湾海域鱼类群落整体上处于严重干扰

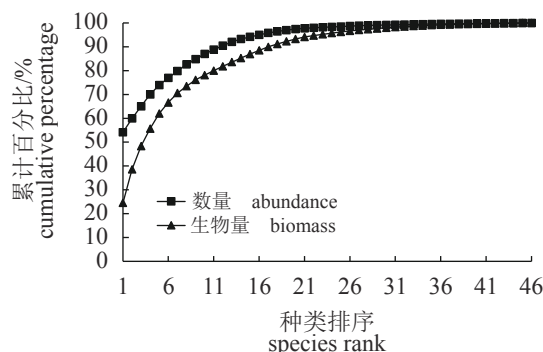


图2 胶州湾海域鱼类群落ABC曲线

Fig. 2 ABC curves of fish community in the Jiaozhou Bay

状态,且春季鱼类群落结构优于其他3个季节,夏季受干扰程度最大,鱼类群落结构最差,这主要与海域的环境^[12]、鱼类生活习性^[10]及捕捞相关^[8]。春季,气温较低,捕捞压力相对较小,且细纹狮子鱼(*Liparis tanakae*)和方氏云鲷(*Enedrias fangi*)属于冷温种,在秋季降温以后进入湾内并在此生殖,到翌年春末离去^[10],而春季调查位于4月初,从而致使春季渔获物主要以细纹狮子鱼和方氏云鲷为主,其数量百分比位于前3位;同时捕获了较大粒径的褐牙鲷、星突江鲷(*Platichthys stellatus*)和许氏平鲷,其生物量百分比位居前3,平均个体质量分别为426.67、371.67和59.70 g,使得春季生物量优势度曲线位于数量优势度曲线上方,鱼类群落结构处于未干扰状态。夏季,气温升高,是赤鼻棱鲷、白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)等暖温性物种游向近岸和海湾进行生殖和育幼的良好时期^[10],使得夏季群落结构组成以赤鼻棱鲷、白姑鱼等小型鱼类为主,渔获数量分别占总渔获量的74.74%和4.10%;同时,受休渔期后过度捕捞影响,鱼类资源量下降,如赤鼻棱鲷的生物量百分比(18.72%)远低于数量百分比(74.74%),使得夏季全年平均个体质量最小(3.54 g),鱼类群落受干扰程度较大,群落结构最不稳定。

2.3 全年鱼类生物量粒径谱

根据4个航次调查结果,构建了胶州湾海域鱼类生物量粒径谱(图4)。胶州湾鱼类Sheldon型生物量粒径谱为单峰模式,鱼类粒径范围为-3~10粒径级,且粒径分布相对均匀,峰值位于5~6粒径级,主要由较大泷六线鱼、褐菖鲉和褐牙鲷等生物量大的小型鱼类构成。鱼类标准化生物量粒径谱曲线的曲率为-0.09。

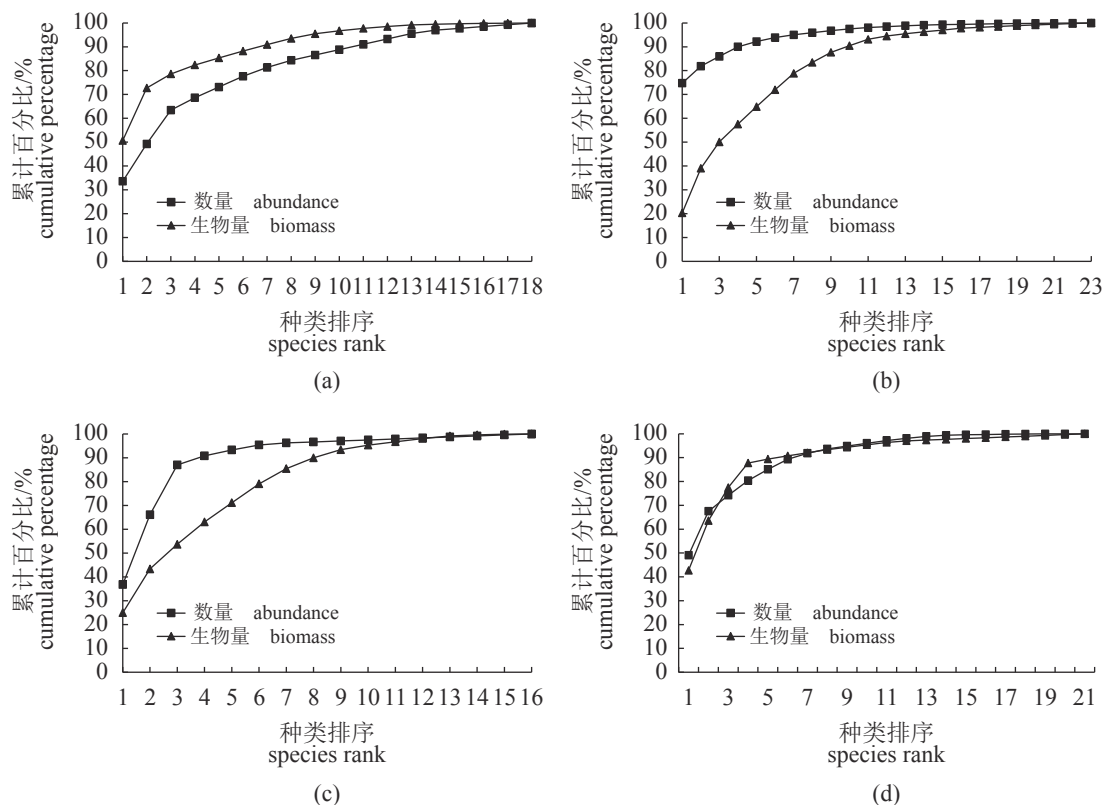


图3 胶州湾海域各季节鱼类群落ABC曲线

(a)春季; (b)夏季; (c)秋季; (d)冬季, 图5和图6同

Fig. 3 ABC curves of fish community in every season in the Jiaozhou Bay

(a) spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter, the same as in Fig. 5 and Fig. 6

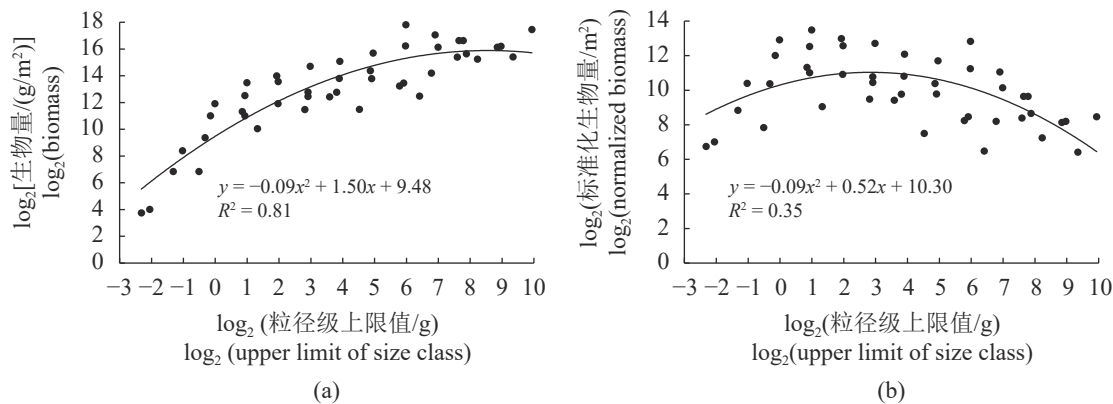


图4 胶州湾海域全年鱼类生物量粒径谱

(a)Sheldon型; (b)标准化型

Fig. 4 Biomass particle size spectrum of fishes in the Jiaozhou Bay

(a) Sheldon; (b) Normalized

2.4 鱼类生物量粒径谱的季节变化

Sheldon型生物量粒径谱 胶州湾海域4个季节Sheldon型生物量粒径谱形状均呈现不规则的锯齿状, 存在明显的季节差异(图5)。整体上, 4个季节鱼类生物量粒径谱曲线均呈单峰模

式。其中, 春、冬季节最小粒径级上对应总生物量高于夏、秋季最小粒径级上对应的总生物量, 且春季有一波谷出现, 冬季有一波峰出现, 秋季波峰和波谷相间分布。4个季节鱼类粒径范围为-3~10粒径级, 其中, 春、冬季节鱼类粒径范围为-1~10粒径级, 夏、秋季鱼类粒径范

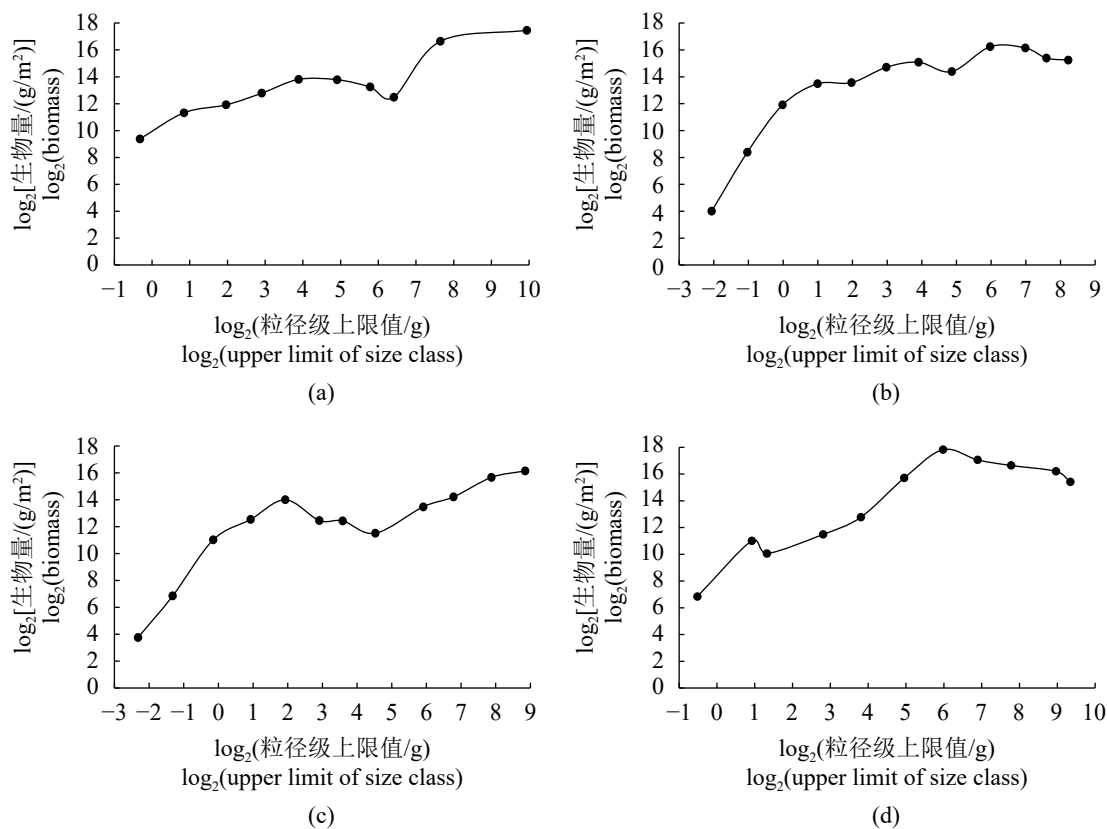


图5 胶州湾海域各季节鱼类生物量粒径谱

Fig. 5 Biomass particle size spectrum of fishes in every season in the Jiaozhou Bay

围为-3~9粒径级, 春、冬季粒径结构优于夏、秋季。

胶州湾鱼类生物量粒径谱的构建能够反映鱼类群落结构的组成特征^[6], 以及鱼类个体大小与丰度间的关系^[29]。胶州湾Sheldon型鱼类生物量粒径谱呈现单峰型, 鱼类粒径范围为-3~10粒径级, 最高峰值位于5~6粒径级, 主要由大泷六线鱼和褐菖鲉等鱼类构成, 其中, 大泷六线鱼的生物量和数量占整个粒径级上总生物量和总数的百分比分别为28.81%和29.25%, 平均个体质量为45.65 g; 褐菖鲉的生物量和数量百分比分别为48.21%和47.17%, 平均个体质量为47.37 g。此外, 5~6粒径级上, 大泷六线鱼和褐菖鲉的冬季渔获量均最大, 且大部分出现在S7和S8站位, 其中, 大泷六线鱼的渔获质量百分比和数量百分比分别为89.46%和90.32%, 褐菖鲉的渔获质量百分比和数量百分比分别为83.35%和84.00%, 这主要与其生活习性相关^[10]。本次调查冬季水温变化范围为3.85~7.00 °C, 平均值为5.50 °C, 水温较低, 且大泷六线鱼为冷温性物种, 故此渔获量较多且成为优势种群; 而褐菖鲉为暖温性

种^[10], 但此次冬季渔获量最高, 根据刘瑞玉^[10]的研究, 将胶州湾鱼类分为常栖地方性和季节洄游性两个种群, 后者又分为暖季、冷季、夏季短时出现和冬季短时出现4个类群, 推测其属于冬季短时类群, 具体原因有待进一步研究。

标准化生物量粒径谱 对4个季节的鱼类生物学数据进行分析, 构建了胶州湾海域各季节鱼类标准化生物量粒径谱图形, 所有的回归结果均具有显著性($P < 0.05$), 且存在明显的季节差异(图6)。4个季节鱼类标准化生物量谱的曲率范围为-0.20~0.01, 其中, 春季最大, 秋、冬季次之, 夏季最小, 且春季曲线弯曲相对平缓, 曲线近似直线, 夏季曲线弯曲较陡峭。4个季节的 R^2 范围为0.35~0.82, 其中, 夏季最大, 秋季最小。

胶州湾鱼类群落粒径结构分布相对均匀, 且最小粒径级上的生物量大小和特殊物种的出现对生物量粒径谱图形有着重要的影响, 与周林滨等^[3]、饶义勇等^[30]的研究结果一致。春季, 最小粒径级上捕获了较多细纹狮子鱼, 使得生物量较高, 标准化生物量粒径谱的曲率相对平

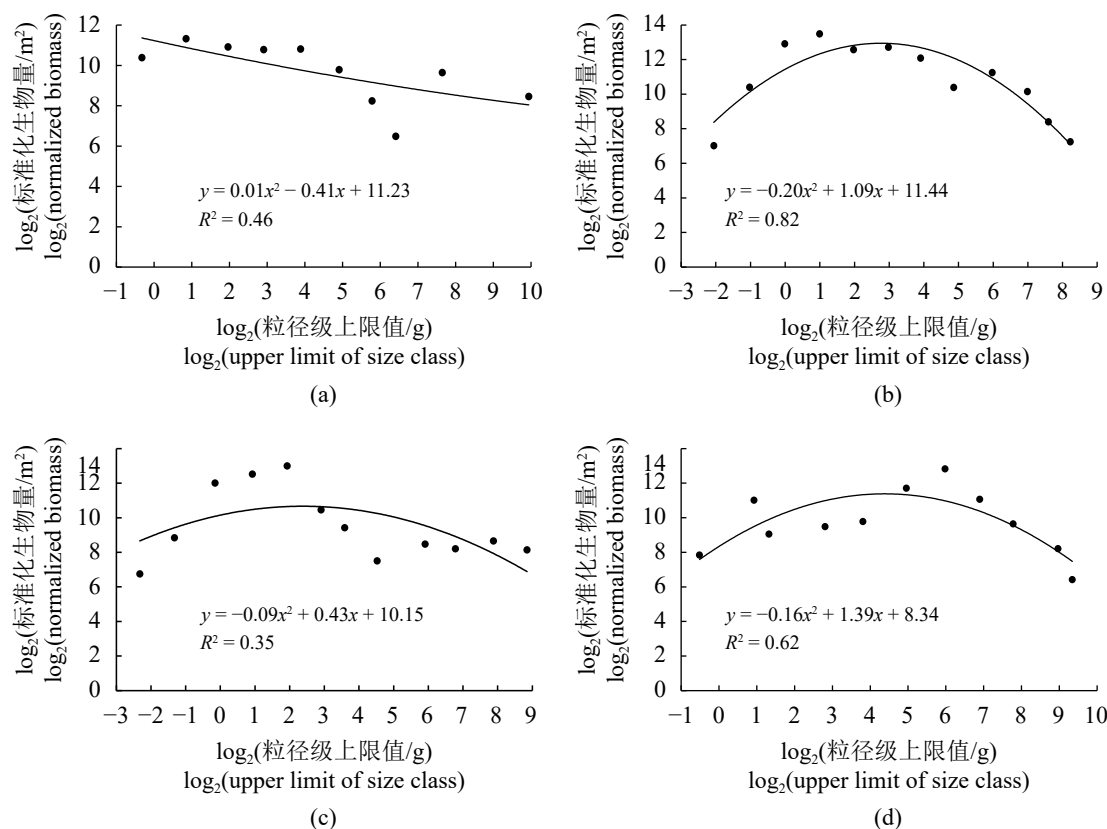


图6 胶州湾海域各季节鱼类标准化生物量粒径谱

Fig. 6 Normalized biomass particle size spectrum of fishes in every season in the Jiaozhou Bay

缓;同时,6~7粒径级上捕获了1尾星突江鲈,生物量(5.73 kg/km²),低于5~6粒径级(9.71 kg/km²)和7~8粒径级(102.34 kg/km²),从而形成一个波谷。而夏、秋、冬季位于最小粒径级的主要鱼类物种分别为赤鼻棱鲷、矛尾虾虎鱼和长丝虾虎鱼(*Cryptocentrus filifer*),其生物量和数量均较小,标准化生物量粒径谱的曲率相对陡峭。同时,春、冬季分别捕获1尾褐牙鲆(980 g)和1尾孔鲈(*Raja porosa*)(650 g),使得出现较高粒径级(9~10粒径级),导致春、冬季鱼类群落粒径结构优于夏、秋季。此外,谱线曲度和曲率的季节变化主要与粒径级小的细纹狮子鱼、大泷六线鱼、玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)及长丝虾虎鱼等地方常栖性种类和赤鼻棱鲷、白姑鱼等季节洄游性种类的出现有关。其中,春季到夏季,曲率降低是由于夏季最小粒径级上(-3~-2)捕获1尾赤鼻棱鲷和1尾白姑鱼幼鱼导致,生物量最低(0.02 kg/km²);夏季到秋季,曲率升高是由于秋季最小粒径级上(1~2)捕获较多长丝虾虎鱼和赤鼻棱鲷导致,生物量(16.31 kg/km²)高于夏季(12.19 kg/km²);秋季到冬季,曲率降低是由于冬

季最小粒径级上(-1~0)捕获1尾玉筋鱼幼鱼和2尾长丝虾虎鱼幼鱼导致,生物量最低(0.11 kg/km²),且粒径范围低于秋季;冬季到春季,曲率升高是由于春季最小粒径级上(-1~0)捕获较多细纹狮子鱼和大泷六线鱼幼鱼导致,生物量(0.67 kg/km²)高于冬季(0.11 kg/km²)。

3 讨论

鱼类生长各阶段粒径大小与鱼类的生活史密切相关^[31],且鱼类群落的粒径结构受其所处的营养级位置^[7]、海域生产力水平^[28]、人类捕捞活动^[32]、补充群体量^[33]及生态环境^[34]影响。春季,水温上升,细纹狮子鱼和大泷六线鱼等一些冷温种类陆续产卵繁殖^[10],捕捞压力较小,使得最小粒径级上捕获较多细纹狮子鱼幼体,生物量较高,且捕获到较大粒径级物种褐牙鲆和星突江鲈,使得粒径分布均匀,谱线平缓,粒径结构优于其他季节。夏季,营养盐丰富,海域生产力较高,赤鼻棱鲷、中颌棱鲷(*T. mystax*)、白姑鱼、长蛇鲻(*Saurida elongata*)及细条天竺鱼(*Apogonichthys lineatus*)等暖温性、暖水性鱼类在

湾内进行生殖和育幼^[10],使得仔、稚鱼数量达到最大,种类数最多^[35],加上受捕捞因素影响,大型经济鱼类资源量减少,鱼类群落粒径结构组成以赤鼻棱鲷、中颌棱鲷、白姑鱼和细条天竺鱼等小型粒径级鱼类为主,鱼类平均个体质量(3.54 g)均低于其他季节,且最大个体质量为299.11 g,缺乏较大粒径级物种,致使粒径分布不均匀,鱼类粒径谱线相对陡峭。冬季,水温降低,部分季节洄游性暖温种类游到湾外^[24],鱼类群落组成以玉筋鱼、大泷六线鱼等冷温性种类为主,使得在5~6粒径级上生物量最高;且捕获1尾体质量大的孔鳐和星突江鲽,致使出现9~10粒径级,鱼类粒径谱线相对平缓。可见,常栖地方性和季节洄游性鱼类等补充群体的数量和粒径级大小影响鱼类生物量粒径谱的峰型和曲率。

然而本次调查研究过程仍存在一定的不足,致使不能全面认识胶州湾鱼类群落粒径结构特征:①调查方法采用底拖网,而北部浅海区为菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)底播养殖区,面积较大且禁止拖网捕捞;②受网目尺寸大小影响,使得最小粒径级上的渔获量较低,影响粒径谱的曲率大小和曲度;③人工采样及测量数据存在一定误差;④以往对胶州湾鱼类粒径谱的研究尚未报道,缺乏鱼类粒径结构的历史研究状况,不能很好地认识鱼类粒径结构演变特征。因此,今后应根据实际地形状况,采用多网具相结合(如刺网、底拖网)来开展大范围的连续性研究;根据最适可捕鱼类群体粒径大小来调整网目尺寸,获得完整的粒径范围。

感谢中国水产科学研究院黄海水产研究所袁伟、孙坚强老师和“黄海星”号工作人员在采集与鉴定样品时;中国海洋大学水产学院张弛老师在标本鉴定时提供的帮助。

参考文献:

- [1] 郭建忠,陈作志,徐姗姗. 鱼类粒径谱研究进展[J]. *海洋渔业*, 2017, 39(5): 582-591.
Guo J Z, Chen Z Z, Xu S N. Advances in fish particle size spectra study[J]. *Marine Fisheries*, 2017, 39(5): 582-591(in Chinese).
- [2] Sheldon R W, Parsons T R. A continuous size spectrum for particulate matter in the sea[J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1967, 24(5): 909-915.
- [3] 周林滨,谭烨辉,黄良民,等. 水生生物粒径谱/生物量谱研究进展[J]. *生态学报*, 2010, 30(12): 3319-3333.
Zhou L B, Tan Y H, Huang L M, *et al.* The advances in the aquatic particle/biomass size spectra study[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3319-3333(in Chinese).
- [4] Cózar A, García C M, Gálvez J A, *et al.* Structuring pelagic trophic networks from the biomass size spectra[J]. *Ecological Modelling*, 2008, 215(4): 314-324.
- [5] Shin Y J, Rochet M J, Jennings S, *et al.* Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(3): 384-396.
- [6] Marquet P A, Quiñones R A, Abades S, *et al.* Scaling and power-laws in ecological systems[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2005, 208(9): 1749-1769.
- [7] Trebilco R, Baum J K, Salomon A K, *et al.* Ecosystem ecology: size-based constraints on the pyramids of life[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2013, 28(7): 423-431.
- [8] Graham N A J, Dulvy N K, Jennings S, *et al.* Size-spectra as indicators of the effects of fishing on coral reef fish assemblages[J]. *Coral Reefs*, 2005, 24(1): 118-124.
- [9] 沃佳,徐宾铎,薛莹,等. 胶州湾鱼类群落优势种组成的时空变化[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(5): 1091-1098.
Wo J, Xu B D, Xue Y, *et al.* Temporo-spatial heterogeneity of dominant fish species in the Jiaozhou Bay community[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(5): 1091-1098(in Chinese).
- [10] 刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 271-295.
Liu R Y. *Ecology and Living Resources of Jiaozhou Bay*[M]. Beijing: Science Press, 1992: 271-295(in Chinese).
- [11] 江世贵,杨慧荣,苏天凤,等. 3个不同地理群体真鲷遗传变异的RAPD分析[J]. *水产学报*, 2004, 28(3): 334-338.
Jiang S G, Yang H R, Su T F, *et al.* Genetic diversity of three geographical populations of *Pagrosomus major* revealed by RAPD analysis[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 28(3): 334-338(in Chinese).
- [12] 翟璐,韩东燕,傅道军,等. 胶州湾及其邻近海域鱼类群落结构及与环境因子的关系[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(4): 810-821.
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- Zhai L, Han D Y, Fu D J, *et al.* Fish community structure and the relationship with environmental factors in Jiaozhou Bay and adjacent waters[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(4): 810-821(in Chinese).
- [13] 郭书新, 张秀梅, 李文涛, 等. 铠平鲈的繁殖生物学特征及胚胎发育[J]. *水产学报*, 2017, 41(1): 52-63.
- Guo S X, Zhang X M, Li W T, *et al.* Reproductive biology and embryonic development of *Sebastes hubbsi*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(1): 52-63(in Chinese).
- [14] 国家标准化委员会国家质检总局. 海洋监测规范第3部分: 样品采集、贮存及运输[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 5-26.
- National Standardization Commission, State Administration of Quality Supervision. The specification for marine monitoring-Part3: sample collection, storage and transportation[S]. Beijing: China Standard Press, 2007: 5-26(in Chinese).
- [15] 国家标准化委员会国家质检总局. 海洋调查规范第9部分: 海洋生态调查指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 1-16.
- National Standardization Commission, State Administration of Quality Supervision. Specifications for oceanographic survey-Part9: guidelines for marine ecology survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2007: 1-16(in Chinese).
- [16] 环境保护部科技标准司. 近岸海域环境监测规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008: 1-54.
- Ministry of Environmental Protection Science and Technology Standards Department. Specification for offshore environmental monitoring[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2008: 1-54(in Chinese).
- [17] 中华人民共和国农业部. 海洋渔业资源调查规范[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 2-13.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic. Technical specification for marine fishery resources survey[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2012: 2-13(in Chinese).
- [18] 国家标准化委员会国家质检总局. 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 56-62.
- National Standardization Commission, State Administration of Quality Supervision. Inspection and Quarantine, Part 6: marine biological research[S]. Beijing: China Standard Press, 2007: 56-62(in Chinese).
- [19] 成庆泰, 郑葆珊. 中国鱼类系统检索-下册[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 287-293.
- Cheng Q T, Zheng B S. Chinese fish system search-volume[M]. Beijing: Science Press, 1987: 287-293(in Chinese).
- [20] Nelson J S. Fishes of the world, 4th Edition[J]. *Fish and Fisheries*, 2006, 7(4): 334.
- [21] Yemane D, Field J G, Leslie R W. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using Abundance Biomass Comparison (ABC) curves[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(3): 374-379.
- [22] 晏磊, 谭永光, 杨炳忠, 等. 基于张网渔业休渔前后的黄茅海河口渔业资源群落比较[J]. *南方水产科学*, 2016, 12(6): 1-8.
- Yan L, Tan Y G, Yang B Z, *et al.* Comparison on resources community of stow-net fishery before and after fishing off season in Huangmaohai Estuary[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(6): 1-8(in Chinese).
- [23] Sheldon R W, Prakash A, Sutcliffe W H J. The size distribution of particles in the ocean[J]. *Limnology and Oceanography*, 1972, 17(3): 327-340.
- [24] Duplisea D E, Kerr S R. Application of a biomass size spectrum model to demersal fish data from the Scotian Shelf[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1995, 177(3): 263-269.
- [25] Sprules W G, Stockwell J D. Size-based biomass and production models in the St Lawrence Great Lakes[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1995, 52(3-4): 705-710.
- [26] Kerr S R, Dickie L M. The biomass spectrum: a predator-prey theory of aquatic production[M]. New York: Columbia University Press, 1893: 110-128.
- [27] Macpherson E, Gordoa A. Biomass spectra in benthic fish assemblages in the Benguela System[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 138(1-3): 27-32.
- [28] Rochet M J, Benoît E. Fishing destabilizes the biomass flow in the marine size spectrum[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2012, 279(1727): 284-292.
- [29] Kerr S R, Dickie L M. The biomass spectrum: a predator-prey theory of aquatic production[M]. New York: Columbia University Press, 2001: 110-128.

- [30] 饶义勇, 蔡立哲, 黄聪丽, 等. 湛江高桥红树林湿地底栖动物粒径谱[J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7182-7189.
- Rao Y Y, Cai L Z, Huang C L, *et al.* Size spectrum of benthic fauna in Zhanjiang Gaoqiao Mangrove Wetlands, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(21): 7182-7189(in Chinese).
- [31] Woodward G, Bo E, Emmerson M, *et al.* Body size in ecological networks[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005, 20(7): 402-409.
- [32] 王跃中, 孙典荣, 贾晓平, 等. 捕捞压力和气候变化对东海马面鲷渔获量的影响[J]. 南方水产科学, 2013, 9(1): 8-15.
- Wang Y Z, Sun D R, Jia X P, *et al.* Influence of fishing pressure and climate change on filefish catches in East China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2013, 9(1): 8-15(in Chinese).
- [33] Jennings S, Reynolds J D. Body size, exploitation and conservation of marine organisms[M]//Hildrew A G, Raffaelli D G, Edmonds-Brown R. Body size: the structure and function of aquatic ecosystems. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 266-285.
- [34] 邱永松. 南海北部大陆架鱼类群落的区域性变化[J]. 水产学报, 1988, 12(4): 303-313.
- Qiu Y S. The regional changes of fish community on the northern continental shelf of South China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1988, 12(4): 303-313(in Chinese).
- [35] 黄凤鹏, 黄景洲, 杨玉玲, 等. 胶州湾鱼卵、仔鱼和稚鱼的分布[J]. 海洋科学进展, 2007, 25(4): 468-473.
- Huang F P, Huang J Z, Yang Y L, *et al.* Distributions of fish eggs and larval fish in the Jiaozhou Bay[J]. *Advances in Marine Science*, 2007, 25(4): 468-473(in Chinese).

Biomass particle size spectrum of fish in the Jiaozhou Bay

XU Shannan¹, GUO Jianzhong^{1,2}, CHEN Zuozhi¹, ZHANG Kui¹, XU Youwei¹, LI Chunhou^{1*}

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. Laboratory of Fishery and Oceanography, College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: In order to understand the grain size structure characteristics of fish communities in the Jiaozhou Bay, in this study, we constructed the biomass particle size spectrum of fish in this area based on the data collected from the four submarine trawl surveys performed during 2016 to 2017. The heterogeneities of the characteristic parameters of biomass particle size spectrum of fish in four seasons were analyzed and compared. The results showed that the Sheldon-type biomass particle size spectrum of fish in the Jiaozhou Bay displayed the unimodal pattern, with the fish particle sizes being ranged from -3 to 10 grain size, showing a relatively uniform particle size distribution spectrum and the highest peak was on the 5-6 grain size. It is mainly composed of small fish, such as *Hexagrammos otakii* and *Sebastiscus marmoratus*. There was a significant difference in the degree of curve and curvature of the normalized biomass particle size spectrum of each season. Among them, the spring curvature was the largest and the curve was gentle whereas the summer curvature was the smallest and the curve was relatively steep. The degree of curve and curvature of the curve were mainly related to the presence of a large number of endemic perennial species, such as *Liparis tanakae*, *Ammodytes personatus*, and *Cryptocentrus filifer* as well as the seasonal migratory fish, such as *Thrissa kammalensis*, and *Argyrosomus argentatus*. The ABC curve indicated that the spring was in an undisturbed state, the winter was in a moderately disturbed state whereas the summer and autumn were in a state of severe disturbance. These results indicated that the fish biomass spectrum in Jiaozhou Bay was unimodal, and the particle size structure was mainly small-sized fish. The number and size of supplementary populations such as local perennial and seasonal migratory fish affected the peak type and curvature of the biomass particle size spectrum of fish in the Jiaozhou Bay.

Key words: fish; biomass particle size spectrum; ABC curve; human activity; Jiaozhou Bay

Corresponding author: LI Chunhou. E-mail: scslch@vip.163.com

Funding projects: National Key R & D Program of China (2018YFD0900902); National Basic Research Program of China (2015CB452904)