

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.140403

崂山湾春季鱼类群落的摄食生态及其主要种类

张波, 袁伟, 王俊

农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 中国水产科学研究院
黄海水产研究所, 山东 青岛 266071

摘要: 崂山湾位于黄海的胶州湾和丁字湾之间, 海湾开阔, 是当前增殖放流的重点海域。根据 2014 年 5 月在崂山湾海域进行的底拖网调查, 分析了该海域春季鱼类群落的种类组成和摄食生态。结果表明, 崂山湾春季鱼类群落共 32 种鱼类, 隶属 8 目, 21 科, 30 属; 以鲈形目(Perciformes)的虾虎鱼科(Gobiidae)和石首鱼科(Sciaenidae)种类最多; 优势种有皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)、短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)和矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*), 主要种有大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、斑鲷(*Clupanodon punctatus*)、赤鼻棱鲷(*Thrissa kam-malensis*)、丝虾虎鱼(*Cryptocentrus filifer*)、方氏云鲷(*Enedrias fangi*)和银鲳(*Pampus argenteus*)。崂山湾春季鱼类群落的种类丰富度指数 R 为 3.19, 多样性指数 H' 为 2.34; 均匀度指数 J' 为 0.68。胃含物分析结果表明, 春季崂山湾生态系统鱼类群落的平均营养级为 3.52; 主要包括了浮游动物食性、杂食性和底栖动物食性 3 种食性类型, 以底栖动物食性鱼类为主。在当前捕捞、气候变化和人类活动等多重压力下, 海湾生态系统承受了巨大的压力, 针对不同的海湾生态系统进行基础调研, 可为制订相应的增殖放流、渔业保护和管理策略提供重要科学依据。

关键词: 崂山湾; 鱼类群落; 主要种类; 种类多样性; 摄食生态

中图分类号: S92

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)04-0820-08

海湾是一个自然地理综合体, 是海岸带的重要组成部分, 是地球上水圈、大气圈、生物圈和岩石圈四大圈层相互作用最活跃的地带。海湾是海陆之间的过度水域, 上接陆地、下接海洋, 海陆的物质传输和能量传递是通过海湾来完成的。同时海湾也是洄游种类产卵、育幼的重要场所。随着海湾开发利用的深入, 海湾出现了各式各样的问题: 海湾纳潮水域面积不断减小, 纳潮量日益减少; 海水交换能力逐渐降低; 海湾淤积加重; 外来物种入侵严重; 海湾湿地日渐减少; 海湾海水污染日趋严重、生态环境日益恶化; 生物多样性日益降低等^[1]。但是, 世界沿海地带的发展速度正在加快, 海湾生态系统健康状况恶化的趋势仍未得到有效缓解, 海湾生态环境问题已经成为一

个全球性的问题, 迫切需要针对具体的海湾生态系统开展深入地研究。

中国的黄渤海海域沿岸有众多海湾, 它们对黄渤海渔业资源的补充具有非常重要的意义。其中的辽东湾^[2-3]、渤海湾^[4-5]、莱州湾^[6-7]、胶州湾^[8-9]和海州湾^[10-11]已有过较多的研究, 而对崂山湾生态系统的研究则较少^[12-13]。崂山湾位于黄海的胶州湾和丁字湾之间, 海湾开阔, 是当前增殖放流的重点海域, 全面了解该水域生态系统中渔业资源种类的组成、数量分布及食物关系, 弄清资源增殖的生态背景场, 是非常必要的。本研究通过对崂山湾春季鱼类群落种类组成, 以及摄食生态的研究, 为进一步指导在崂山湾开展增殖放流和实施有效的渔业保护和管理提供科学依据。

收稿日期: 2014-09-26; 修订日期: 2014-11-03.

基金项目: 科技部国家重点基础研究发展计划项目(2015CB453303); 科技部国家科技支撑计划项目(2012BAD18B01).

作者简介: 张波(1971-), 女, 博士, 主要从事鱼类摄食生态及食物网结构的研究. E-mail: zhangbo@ysfri.ac.cn

1 材料与方法

1.1 样品采集和分析

2014年5月,利用中国水产科学研究院黄海水产研究所“黄海星”号科学调查船在崂山湾进行了底拖网调查,取样站位如图1所示。定点站位拖网1h,拖速为3.0 kn。对每站的渔获物进行种类鉴定、计数和称重后,所有样品带回实验室进行分析鉴定。

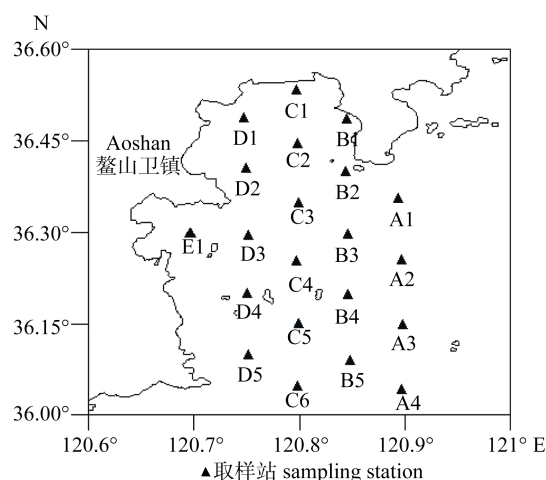


图1 崂山湾底拖网取样站位图

Fig. 1 Bottom trawl sampling stations in Laoshan Bay

取样个体经生物学测定后,取出消化道立即速冻保存。胃含物分析时,将其解冻用吸水纸吸去水分后,再在双筒解剖镜下鉴定饵料生物的种类并分别计数和称重,食物重量精确到0.001 g,并尽量鉴定到最低分类阶元。本研究共分析8种鱼类497个胃含物样品,其中皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)78个、短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)48个、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)61个、斑鲷(*Clupanodon punctatus*)55个、赤鼻棱鲷(*Thrissa kammalensis*)96个、丝虾虎鱼(*Cryptocentrus filifer*)63个、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)56个、方氏云鲷(*Enedrias fangi*)40个,银鲳的食物组成引自韦晟等^[14]。

1.2 数据分析

用相对重要性指数(IRI)来确定崂山湾春季鱼类群落中各鱼种的重要性:

$$IRI = (N + W) \times F$$

其中 N 为某一种类的尾数占总尾数的百分比; W 为某一种类的重量占总重量的百分比; F 为某一种类出现的站数占调查站位数的百分比。根据程济生等^[15], IRI值大于1 000的鱼种为鱼类群落的优势种, IRI值在100~1 000的鱼种为鱼类群落的主要种。

采用 Margalef 物种丰富度指数 R , Shannon-Wiener 多样性指数 H' , Pielou 均匀度指数 J' 来研究崂山湾春季鱼类群落生态多样性:

$$R = (S - 1) / \ln S$$

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$J' = H' / \ln S$$

其中 S 为鱼种数, W 为总渔获量, P_i 为 i 鱼种占总渔获量的比例。本文采用生物量计算群落生态多样性^[9]。

根据“简化食物网”的研究策略^[16],将优势种和主要种作为崂山湾生态系统食物关系、营养层次转化中发挥重要功能作用的重要种类来进行胃含物分析。根据胃含物分析结果,采用出现频率百分比组成这一指标来描述各鱼种的食物组成:

出现频率百分比组成=

$$\frac{\text{某饵料生物的出现频率}}{\text{各饵料生物出现频率的总和}} \times 100$$

$$\text{出现频率} = \frac{\text{含有某饵料生物的胃数}}{\text{总实胃数}} \times 100$$

将各鱼种的食物组成归为以下饵料类群:浮游植物、浮游动物(包括桡足类、磷虾类、毛虾类、糠虾类、蜃类和甲壳类幼体)、底栖动物(包括虾类、蟹类、蛇尾类、腹足类、双壳类、多毛类、涟虫类和钩虾类等)和鱼类。采用一般多数的原则,以出现频率百分比组成超过60%的饵料为主要摄食对象来划分食性类型^[17],将食性类型划分为5种:杂食性、浮游动物食性、底栖动物食性、鱼食性和广食性^[7]。

春季崂山湾鱼类群落平均营养级($\overline{TL}_k$)的计算公式为:

$$\overline{TL}_k = \sum_{i=1}^m TL_i Y_i / Y$$

式中, TL_i 表示 i 种类的营养级, Y_i 表示 i 种类的生物量, Y 表示 m 个种类的总生物量。

$$TL_i = 1 + \sum_{j=1}^n DC_{ij} TL_j$$

式中, TL_i 是生物 i 的营养级, TL_j 是生物 i 摄食的食物 j 的营养级; DC_{ij} 是食物 j 在生物 i 的食物中所占的比例。摄食食物的营养级数据来源于程济生等^[18]和张波等^[19], 蔡德陵等^[13]研究结果中的营养级按浮游植物营养级为 1.0 进行修正。

2 结果与分析

2.1 种类组成

本次崂山湾调查平均水深 14.95 m, 共鉴定出 32 种鱼类, 隶属 8 目 21 科 30 属。其中鲈形目种类最多, 有 12 科 19 属 20 种; 其次为鲱形目, 有 2 科 4 属 5 种; 其余 6 目仅有 1~2 种。鲈形目中以虾虎鱼科和石首鱼科种类最多, 分别有 6 种和 4 种, 分别占总渔获量和总渔获尾数的 36.87%、8.23%和 38.44%、19.26% (表 1)。崂山湾春季鱼类群落的种类丰富度指数 R 为 3.19, 多样性指数 H' 为 2.34; 均匀度指数 J' 为 0.68。

表 1 崂山湾春季鱼类群落组成
Tab. 1 Species composition of fish community during spring in Laoshan Bay

目 Order	种类 species	$W\%$	$N\%$	$F\%$	IRI
鲱形目 Clupeiformes	青鳞沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	1.34	1.02	5.56	13
	斑鲚 <i>Clupanodon punctatus</i>	12.13	3.20	27.78	426
	赤鼻棱鲢 <i>Thrissa kammalensis</i>	6.72	6.76	22.22	300
	中颌棱鲢 <i>Thrissa mystax</i>	0.61	0.51	5.56	6
	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	0.09	0.07	5.56	1
灯笼鱼目 Scopeliformes	长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>	0.97	0.07	5.56	6
鳗鲡目 Anguilliformes	星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>	0.63	0.29	16.67	15
海龙目 Syngnathiformes	海龙 <i>Syngnathus acus</i>	0.19	0.94	27.78	31
鲈形目 Perciformes	细条天竺鱼 <i>Apogonichthys lineatus</i>	0.04	0.15	5.56	1
	多鳞鱖 <i>Sillago sihama</i>	0.16	0.15	11.11	3
	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	35.76	38.01	66.67	4918
	小黄鱼 <i>Lanmichthys polyactis</i>	0.77	0.29	16.67	18
	黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	0.30	0.07	5.56	2
	棘头梅童 <i>Collichthys lucidus</i>	0.04	0.07	5.56	1
	方氏云鲷 <i>Enedrias fangi</i>	1.54	3.27	44.44	214
	长绵鲷 <i>Enchelyopus elongatus</i>	1.52	0.07	5.56	9
	玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	0.50	4.65	16.67	86
	绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>	0.29	0.36	16.67	11
	银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	7.29	2.40	16.67	161
	丝虾虎鱼 <i>Cryptocentrus filifer</i>	1.02	3.56	50.00	229
	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	5.59	13.66	72.22	1391
	六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	0.48	0.29	11.11	9
	矛尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius hasta</i>	0.15	0.15	5.56	2
	中华栉孔虾虎鱼 <i>Ctenopoma chinensis</i>	0.14	0.80	33.33	31
	红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	0.85	0.80	33.33	55
	大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	3.28	6.03	50.00	465
	鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	0.30	0.07	5.56	2
	细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	1.61	1.45	22.22	68
鲽形目 Pleuronectiformes	石鲽 <i>Platichthys bicoloratus</i>	0.05	0.22	5.56	1
	短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	10.19	10.47	72.22	1492
鲉形目 Tetraodontiformes	绿鳍马面鲀 <i>Navodon septentrionalis</i>	1.34	0.07	5.56	8
鲅形目 Lophiiformes	黄鲅 <i>Lophius litulon</i>	4.11	0.07	5.56	23

相对重要性指数计算结果(表 1)表明春季崂山湾的优势种有 3 种, 为皮氏叫姑鱼、短吻红舌鲷和矛尾虾虎鱼, 占总渔获量和总渔获尾数的 51.54%和 62.14%; 春季崂山湾的主要种有 6 种, 依次为大泷六线鱼、斑鲹、赤鼻棱鲷、丝虾虎鱼、方氏云鲷和银鲷, 占总渔获量和总渔获尾数的 31.98%和 25.22%。这 9 种鱼类共占总渔获物量的 83.52%, 为春季崂山湾生态系统鱼类群落食物网的重要种类。

2.2 重要种类的摄食习性

根据对 8 种重要种类的胃含物分析(表 2, 图 2), 结果表明春季崂山湾生态系统鱼类群落主要包括了 3 种食性类型, 浮游动物食性、杂食性和底栖动物食性, 其中以底栖动物食性鱼类所占的比例最大, 占总渔获量的 57.38%。银鲷和斑鲹属杂食性鱼类, 营养级分别为 3.20 和 3.03; 其中斑鲹摄食的饵料范围较广, 摄食的动物性饵料中包括了浮游动物和较多的底栖动物。赤鼻棱鲷是 9 种重要鱼类中唯一的浮游动物食性鱼类, 主要摄食桡足类, 以中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)为主, 营养级为 3.05。6 种底栖动物食性鱼类包

括了两个亚功能群。皮氏叫姑鱼和大泷六线鱼为一个亚功能群, 占总渔获量的 39.04%; 摄食 63.21%~63.89%的底层虾蟹类, 其中以疣背宽额虾(*Latreutes planirostris*)、日本鼓虾(*Alpheus japonicus*)、海蜇虾(*Latreutes anoplonyx*)和细螯虾(*Leptochela gracilis*)为主; 营养级分别为 3.89 和 3.95。方氏云鲷、丝虾虎鱼、矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷为一个亚功能群, 占总渔获量的 18.34%; 摄食 66.67%~100%的底栖动物饵料, 其中主要是钩虾类, 其次是瓣鳃类、多毛类和腹足类; 营养级分别为 3.26、3.30、3.43 和 3.31。这些底栖动物

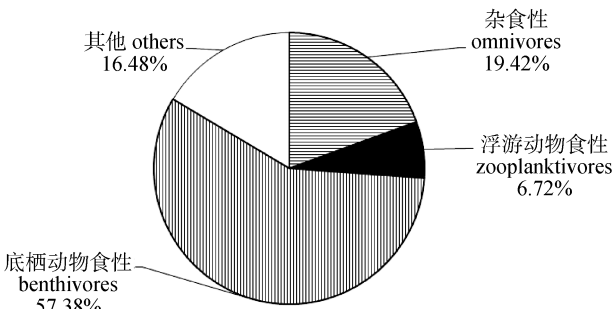


图 2 春季崂山湾鱼类群落的食性类型
Fig. 2 Feeding habits of fish community during spring in Laoshan Bay

表 2 崂山湾春季鱼类群落重要鱼种的食物组成(出现频率百分比组成)

Tab. 2 Diet composition of important species of fish community during spring in Laoshan Bay (percentage frequency of occurrence)								
饵料类群 prey group	斑鲹 <i>C. punctatus</i>	赤鼻棱鲷 <i>T. kammalensis</i>	皮氏叫姑鱼 <i>J. belengerii</i>	方氏云鲷 <i>E. fangi</i>	丝虾虎鱼 <i>C. filifer</i>	矛尾虾虎鱼 <i>C. stigmatias</i>	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i>	短吻红舌鲷 <i>C. joyneri</i>
园筛藻 <i>Coscinodiscus</i>	9.09	—	—	—	—	—	—	—
桡足类 <i>Copepoda</i>	27.28	75.28	2.83	7.90	—	—	2.78	—
糠虾类 <i>Mysidacea</i>	—	3.37	32.08	18.42	—	16.67	19.44	—
螯类 <i>Hyperrid amphipods</i>	—	8.99	—	—	—	—	—	—
毛虾类 <i>Acetes</i>	—	1.12	—	—	—	—	—	—
介形类 <i>Ostracoda</i>	9.09	—	—	—	—	—	—	—
甲壳类幼体 <i>Crustacea larva</i>	—	7.87	—	—	—	—	—	5.56
钩虾类 <i>Gammarid amphipods</i>	—	1.13	0.94	34.21	77.78	33.33	11.11	33.33
涟虫类 <i>Cumacea</i>	—	—	—	—	—	—	—	2.78
蛇尾类 <i>Ophiuroidea</i>	—	—	—	—	—	16.67	—	—
多毛类 <i>Polychaeta</i>	—	1.12	—	—	11.11	—	—	8.33
腹足类 <i>Gastropoda</i>	27.27	1.12	—	—	—	—	—	25.00
瓣鳃类 <i>Bivalvia</i>	27.27	—	—	34.21	11.11	16.67	—	19.44
虾类 <i>shrimps</i>	—	—	55.66	5.26	—	16.66	60.19	2.78
蟹类 <i>crab</i>	—	—	7.55	—	—	—	3.70	2.78
鱼类 <i>fishes</i>	—	—	0.94	—	—	—	2.78	—

食性鱼类中的皮氏叫姑鱼、大泷六线鱼、方氏云鲷和矛尾虾虎鱼还摄食较多的糠虾类浮游动物饵料,其中主要是长额刺糠虾(*Acanthomysis longirostris*)。春季崂山湾生态系统鱼类群落的平均营养级为 3.52。

3 讨论

海湾生态系统是众多渔业资源重要的产卵场和栖息地,对海洋生态系统渔业资源的补充具有非常重要的意义。当前,在捕捞、气候变化和人类活动等多重压力下,我国的海湾生态系统承受了巨大的压力。胶州湾的研究表明渔业资源已呈明显的衰退趋势,鱼类种类数减少,优势种主要是小型底层鱼类^[20]。莱州湾渔获量持续下降,优势种从 20 世纪 80 年代开始,个体大、经济价值高的种类(如带鱼、小黄鱼)被寿命短、浮游生物食性的低营养级中上层鱼类(如黄鲫、鳀)所替代;近来,这些小型的中上层鱼类有可能被无脊椎动物(如口虾蛄、脊腹褐虾)所替代^[6]。根据本研究结果,当前春季崂山湾生态系统鱼类群落共 32 种鱼类,隶属 8 目,21 科,30 属;种类丰富度指数 R 为 3.19,多样性指数 H' 为 2.34,均匀度指数 J' 为 0.68。尽管鱼类的种类数远少于莱州湾、胶州湾、海州湾,但种类的丰富度、多样性和均匀度均与这 3 个海湾接近^[8, 11, 21]。春季崂山湾鱼类群落共有 9 种重要种类:皮氏叫姑鱼、短吻红舌鲷、矛尾虾虎鱼、大泷六线鱼、斑鲈、赤鼻棱鳀、丝虾虎鱼、方氏云鲷和银鲳,皮氏叫姑鱼占春季崂山湾鱼类群落总渔获量的 35.76%。崂山湾鱼类群落的优势种与莱州湾有较大差异,矛尾虾虎鱼占春季莱州湾鱼类群落总渔获量的 38.80%^[21];而优势种与胶州湾和海州湾的差异,除了研究季节不同以外^[8, 11],不同的海湾生态环境是导致鱼类群落组成差异的主要原因。因此,应针对不同的海湾生态系统,制订相应的增殖放流、渔业保护和管理的策略。

海湾生态系统鱼类群落的营养功能群划分是了解海湾生态状况的重要研究内容^[22-23]。本研究结果表明春季崂山湾生态系统鱼类群落主要包括

了浮游动物食性、杂食性和底栖动物食性 3 种食性类型,没有广食性和鱼食性鱼类;中华哲水蚤、长额刺糠虾、钩虾类和疣背宽额虾是崂山湾春季鱼类群落的主要饵料种类。与莱州湾相比,尽管 5 月份的鱼类群落都是以底栖动物食性鱼类为主,但莱州湾的底栖动物食性鱼类主要以摄食钩虾类、涟虫类等底栖动物饵料为主,而崂山湾底栖动物食性鱼类以摄食底层虾蟹类饵料为主^[7]。蔡德陵等^[13]采用同位素示踪方法研究了崂山湾食物网结构,研究结果表明,莱州湾食物网存在 5 个营养层次,其中鱼类包括了低级肉食性鱼类(营养级为 3.0~4.0),中级肉食性鱼类(营养级 4.1~4.5)和高级肉食性鱼类(营养级>4.5);食物网中碳的来源主要是浮游植物碳。而本研究结果表明,当前春季崂山湾生态系统鱼类群落重要种类的营养级在 3.03~3.95,平均营养级仅为 3.52。可见,当前春季崂山湾生态系统食物网结构发生了较大的变化,营养层次下降,食物网中碳的来源主要是碎屑,这与莱州湾生态系统当前的状况相似^[24]。

斑鲈是春季崂山湾生态系统鱼类群落的主要种类之一,摄食一定比例的圆筛藻。与蔡德陵等^[12]的研究结果相比,春季崂山湾浮游植物群落发生了较大的变化^[25]。首先春季崂山湾的浮游植物群落优势种发生了变化,由硅藻门的圆筛藻和翼根管藻(*Rhizosolenia alata*)转变为硅藻门的密联角毛藻(*Chaetoceros densus*)和甲藻门的夜光藻(*Noctiluca scintillans*),圆筛藻不再是优势种。其次是浮游植物群落演替发生了变化,1993-1995 年是 5 月份硅藻控制过渡到 8 月份的硅/甲藻共同控制,2013 年则是 3 月份硅藻控制逐步过渡到 4 月份、5 月份硅/甲藻共同控制。根据乔芮等^[25]分析,2013 年崂山湾浮游植物群落的演替是由于硅藻和甲藻对不同环境要素的需求所导致的,海水的升温效应使甲藻的生长率上升。由此可见,崂山湾浮游植物群落的变化反映了近年来崂山湾的海水温度是呈上升趋势的,这也有可能会导致鱼类适合饵料减少,影响鱼类的生长,甚至导致生态系统食物网结构发生变化。

当前,崂山湾成为了山东省增殖放流的重要

海域,在增殖放流区选择上,对敌害生物采取“回避”策略是保护增殖放流种类的可行策略^[26]。本研究中的赤鼻棱鲷和短吻红舌鲷均摄食一定比例的甲壳类幼体,对放流的虾蟹类幼苗有潜在的捕食威胁。根据拖网调查资料,在近岸的C2站有较多赤鼻棱鲷,近岸的D2、D3、C2、B1和B2站均有短吻红舌鲷。因此,在增殖放流虾蟹类时,应考虑尽量避开这些区域,以提高放流苗种的存活率。

参考文献:

- [1] Wang W H, Wu S Y, Feng A P. Discussion on Healthy Bay and Index for Bay Health[J]. Coastal Engineering, 2011, 30(3): 90–97. [王文海, 吴桑云, 丰爱平. 试论健康海湾与海湾健康指标[J]. 海岸工程, 2011, 30(3): 90–97.]
- [2] Sun M, Liu X Z, Li Y P, et al. Trophic level analysis of key species in Liaodong Bay using stable nitrogen isotopes[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(1): 189–197. [孙明, 刘修泽, 李轶平, 等. 应用氮稳定同位素技术研究辽东湾海域主要渔业生物的营养级[J]. 中国水产科学, 2013, 20(1): 189–197.]
- [3] Gao Y, Liu M Y, Tang Y, et al. Surveys and analysis of marine fishery resources and ecological environment in Liaodong Bay[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(2): 211–216. [高音, 刘明勇, 汤勇, 等. 辽东湾渔业资源及生态环境的调查分析[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(2): 211–216.]
- [4] Zhou R, Qin X B, Peng S T, et al. Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 50–58. [周然, 覃雪波, 彭士涛, 等. 渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 50–58.]
- [5] Xu H L, Gu D X, Qiao X T, et al. Analysis of length-weight relationship for major fishing species from Bohai Bay [J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(1): 57–63. [徐海龙, 谷德贤, 乔秀亭, 等. 渤海湾主要渔业资源长度与体质量关系分析[J]. 南方水产科学, 2014, 10(1): 57–63.]
- [6] Jin X, Shan X, Li X, et al. Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China[J]. Science China Earth Sciences, 2013, 56(3): 366–374.
- [7] Zhang B, Wu Q, Jin X S. Feeding ecology of fish assemblages and its variations in the Laizhou Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(2): 1–9. [张波, 吴强, 金显仕. 莱州湾鱼类群落的营养结构及其变化[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(2): 1–9.]
- [8] Mei C, Xu B D, Xue Y, et al. Fish community structure and species diversity during autumn and winter in the central waters of Jiaozhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(1): 110–118. [梅春, 徐宾铎, 薛莹, 等. 胶州湾中部海域秋、冬季鱼类群落结构及其多样性研究[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 110–118.]
- [9] Xu B D, Zeng H H, Xue Y, et al. Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 3074–3082. [徐宾铎, 曾慧慧, 薛莹, 等. 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2013, 33(10): 3074–3082.]
- [10] Su W, Xue Y, Ren Y P. Temporal and spatial variation in taxonomic diversity of fish in Haizhou Bay: The effect of environmental factors[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(3): 624–634. [苏巍, 薛莹, 任一平. 海州湾海域鱼类分类多样性的时空变化及其与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2013, 20(3): 624–634.]
- [11] Wang X L, Xu B D, Ji Y P, et al. Fish community structure and its relationships with environmental factors in Haizhou Bay and adjacent waters of East China in winter[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(6): 1707–1714. [王小林, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 海州湾及邻近海域冬季鱼类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1707–1714.]
- [12] Cai D L, Mao X H, Han Y B. Application of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios to studies of trophic relation in a marine ecosystem—preliminary inquiry into isotopic compositions of marine plant and their influence factors[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1999, 30(3): 306–314. [蔡德陵, 毛兴华, 韩贻兵. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值在海洋生态系统营养关系研究中的应用—海洋植物的同位素组成及其影响因素的初步探讨[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(3): 306–314.]
- [13] Cai D L, Meng F, Han Y B, et al. Studies on $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios as a tracer for food web in a marine ecosystem—the trophic relations in pelagic food webs in Laoshan Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1999, 30(6): 671–677. [蔡德陵, 孟凡, 韩贻兵, 等. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值作为海洋生态系统食物网示踪剂的研究—崂山湾水体生物食物网的营养关系[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(6): 671–677.]
- [14] Wei C, Jiang W M. Study on food web of fishes in the Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1992, 23(2): 182–192. [韦晟, 姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(2): 182–192.]
- [15] Chen J S, Yu L F. The change of structure and diversity of demersal fish communities in the Yellow Sea and East China Sea in winter[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(1): 29–34. [程济生, 俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构

- 及多样性变化[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 29–34.]
- [16] Tang Q S. Strategies of research on marine food web and trophodynamics between high trophic levels[J]. Marine Fisheries Research, 1999, 20(2): 1–11. [唐启升. 海洋食物网与高营养层次营养动力学研究策略[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 1–11.]
- [17] Zhang B, Tang Q S. Feeding habits of six species of eels in East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(4): 307–314. [张波, 唐启升. 东、黄海六种鳗的食性[J]. 水产学报, 2003, 27(4): 307–314.]
- [18] Cheng J S, Zhu J S. Study on the feeding habit and trophic level of main economic invertebrates in the Huanghai Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1997, 19(6): 102–108. [程济生, 朱金声. 黄海主要经济无脊椎动物摄食特征及其营养层次的研究[J]. 海洋学报, 1997, 19(6): 102–108.]
- [19] Zhang B, Tang Q S. Study on trophic level of important resources species at high trophic levels in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(4): 393–404. [张波, 唐启升. 渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(4): 393–404.]
- [20] Zeng X Q, Piao C H, Jiang W, et al. Biodiversity Investigation in Jiaozhou Bay and Neighbouring Waters[J]. Periodical of Ocean University of China, 2004, 34(6): 977–982. [曾晓起, 朴成华, 姜伟, 等. 胶州湾及其邻近水域渔业生物多样性的调查研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2004, 34(6): 977–982.]
- [21] Sun P F, Shan X J, Wu Q, et al. Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 367–376. [孙鹏飞, 单秀娟, 吴强, 等. 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 367–376.]
- [22] Nagelkerken I, van der Velde G, Cocheret de la Morinière E. Fish feeding guilds along a gradient of bay biotopes and coral reef depth zones[J]. Aqua Ecol, 2001, 35(1): 73–86.
- [23] Hajisamae S, Ibrahim S. Seasonal and spatial variations of fish trophic guilds in a shallow, semi-enclosed tropical estuarine bay[J]. Environ Biol Fish, 2008, 82: 251–264.
- [24] Zhang B, Wu Q, Jin X S. Interannual variation in the food web of commercially harvested species in Laizhou Bay from 1959 to 2011 [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(2): 278–287. [张波, 吴强, 金显仕. 1959–2011 年间莱州湾渔业资源群落食物网结构的变化[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 278–287.]
- [25] Qiao R, Luan Q S, Wang J, et al. Distribution and controlling environmental factors of phytoplankton communities in the Laoshan Bay during spring in 2013[J]. Mar Sci, 2015, 39(7) (in press). [乔芮, 栾青杉, 王俊, 等. 2013 年春季崂山湾浮游植物群落及其环境控制[J]. 海洋科学, 2015, 39(7) 待刊.]
- [26] Tang Q S, Wei C, Jiang W M. Predator species of fishery resources enhancement and their predation on enhancement species in Laizhou Bay of Bohai Sea [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(2): 199–206. [唐启升, 韦晟, 姜卫民. 渤海莱州湾渔业资源增殖的敌害生物及其对增殖种类的危害[J]. 应用生态学报, 1997, 8(2): 199–206.]

Feeding ecology of the dominant fish species in spring in Laoshan Bay

ZHANG Bo, YUAN Wei, WANG Jun

Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture; Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Shandong Province; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

Abstract: The stock enhancement program in Laoshan Bay is vital for the Yellow Sea fisheries, and it is essential to understand the ecology of the release areas. The springtime species composition and diversity of the Laoshan Bay fish assemblage were determined using bottom trawl surveys conducted in May 2014. The catch included a total of 32 fish species in 8 orders, 21 families, and 30 genera. Perciformes were the most abundant, where Gobiidae and Sciaenidae accounted for 36.87% and 36.87% of total catch biomass, respectively. The index of relative importance indicated 3 dominant fish species—*Johnius belangerii*, *Cynoglossus joyneri*, and *Chaeturichthys stigmatias*—accounted for 51.54% of the total catch. *Hexagrammos otakii*, *Clupanodon punctatus*, *Thrissa kammalensis*, *Cryptocentrus filifer*, *Enedrias fangi*, and *Pampus argenteus* were the next six main species and accounted for 31.98% of total catch biomass. Diversity calculated as the Margalef species richness index, Shannon-Wiener diversity index, and Pielou evenness index were 3.19, 2.34, and 0.68, respectively, which were similar to those of Laizhou Bay, Jiaozhou Bay, and Haizhou Bay, although species numbers were smaller. Thus, the nine most abundant species accounted for 83.52% of total catch biomass and were also considered important for trophic relationships in the Laoshan Bay springtime fish assemblage. Stomach content analysis indicated three feeding types in the primary species, where *Pampus argenteus* and *Clupanodon punctatus* were omnivores, *Thrissa kammalensis* was a zooplanktivore, and the other six species were benthivores. Benthivorous fish were most abundant, accounting for 57.38% of total catch biomass. The average trophic level of the fish assemblage was 3.52, and the main food species were *Calanus sinicus*, *Acanthomysis longirostris*, *Gammarid amphipods*, and *Latreutes planirostris*.

Key words: Laoshan Bay; fish community; major species; species diversity; feeding ecology

Corresponding author: ZHANG Bo. E-mail: zhangbo@ysfri.ac.cn