

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16339

调水调沙前后黄河口渔业资源结构变化

陈宁¹, 杨艳艳², 魏振华², 徐宾铎¹, 薛莹¹, 张崇良¹

1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003

2. 山东省海洋资源与环境研究院, 山东 烟台 264006

摘要: 黄河口调水调沙是以人工调控的方式将淤积的泥沙送入大海, 增加河床和水库主槽行洪能力的过程。根据 2011—2013 年调水调沙前(6 月)、后(7 月)在黄河口海域的渔业资源调查数据, 利用相对优势度指数、方差分析以及多元统计分析等方法, 研究了该海域夏季渔业资源密度、种类组成、优势种及其年际变化, 并探讨调水调沙对黄河口渔业资源结构的影响。结果表明, 本次调查共鉴定渔业资源生物 92 种, 其中鱼类 52 种; 黄河口主要优势种为矛尾虾虎鱼(*Chaemrichthys stigmatias*)、枪乌贼(*Loligo spp.*)和葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)等, 各年份优势种有所变动; 夏季渔业资源量有明显年际波动, 在 2011—2013 年呈先增加后减少的趋势, 各年间差异显著; 黄河口渔业资源结构在调水调沙前后有明显变化, 调水调沙后渔业资源平均密度增大, 且近河口区资源密度较小; CLUSTER 聚类分析表明黄河口渔业资源结构年际变化最为明显, 其次是调水调沙前后的变化, 而断面间的差异性最低。结论认为, 黄河调水调沙引起的径流量、营养盐变化可能是引起调水调沙前后渔业资源种类组成、资源量变化的重要原因。

关键词: 黄河口; 调水调沙; 渔业资源; 时空变化; 群落结构

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)05-0953-10

黄河口处于莱州湾和渤海湾的交汇处, 黄河径流为河口区带来大量的营养盐和泥沙, 河口区自然资源十分丰富, 为渔业资源生物生存提供了条件。近十几年来, 黄河入海径流量锐减, 甚至出现断流现象, 导致河口区淡水及营养盐来源缺失^[1], 又加之人类活动加剧, 使海域渔业资源群落发生了较大的变化。调水调沙是防止黄河下游泥沙淤积的工程措施之一^[2], 自 2002 年以来, 通过人工调控方式对黄河进行调水调沙, 在每年 6—7 月份, 黄河上游各水库集中开闸放水, 利用人造洪水对下游河道泥沙进行冲刷, 从而利用有限的径流量最大限度地把淤积在河道中的泥沙带入大海中, 以此改善黄河水沙时空不平衡性和输沙用水不足。这一措施使黄河入海径流量、营养盐急剧变化^[3], 径流量的增加使淡水输入量急剧增加, 从而影响到河口的盐度, 盐度变化使广盐性种类、低盐度种类等种类增加, 而营养盐的增加可能会导致浮游生物密度增加, 从而带来

渔业资源的密度的增大。而入海泥沙通量的变化则会影响河口区的透明度以及营养盐浓度, 进而影响黄河口水域生态环境, 使渔业资源种类组成、资源密度和群落结构等在调水调沙前后发生变化。

目前对黄河口渔业资源生态研究主要集中于单一年份的种类组成、群落结构、物种多样性等方面。例如吕振波等^[4]的研究结果表明, 2010 年黄河口海域鱼类群落的种类组成、优势种、空间分布、物种多样性和群落相似性与历史资料相比发生了明显变化; 郑亮^[5]研究了 2012 年黄河口海域鱼类群落结构特征及其与环境因子间的关系; 张旭^[6]的研究结果表明海域生态环境变化是 2007 年黄河口海域渔业资源群落结构发生变化的主要影响因子, 并研究了不同网具对海域渔业资源产生的影响; 孙凯静等^[7]对 2013 年黄河口及邻近海域底栖群落健康及生境适宜性进行了评价和划分, 而对黄河河口区渔业资源年际间变化的研究还较少。

收稿日期: 2016-11-11; 修订日期: 2017-02-08.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303050); 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划项目(2015ASKJ02).

作者简介: 陈宁(1993-), 女, 硕士研究生, 从事渔业资源研究. E-mail: chenning_1993@126.com

通信作者: 张崇良, 副教授. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

关于调水调沙生态影响的研究多集中于黄河河段。张军燕等^[8]的研究结果表明调水调沙前、后壶口至三门峡段鱼类群落种类组成、生物量、多样性指数等均发生了变化;介子林等^[9]的研究结果表明黄河下游河道水域水质、水生生物、渔业资源等受调水调沙的不利影响;朱国清等^[10]对黄河中游调水调沙前后渔获物组成及生态敏感区变化进行了分析、监测和评价,表明调水调沙对其影响显著。仅有郑亮等^[11]研究了2012年调水调沙前、中、后黄河口海域鱼类群落组成、空间分布、多样性特征等,研究认为由于调水调沙引起的泥沙沉降、淡水和营养盐的注入等对底层鱼类和中上层鱼类产生了不同的影响;李少文等^[12]则研究了调水调沙期间大型底栖动物与环境因子的关系。而关于调水调沙对黄河口渔业资源生态影响的研究仍较少。

因此本研究利用2011—2013年调水调沙前后共6个航次调查,对该海域渔业资源种类组成、优势种、群落结构等进行了研究,分析了黄河口海域渔业资源状况的年际变化及其在调水调沙前后的变化,比较调水调沙工程中年际变化和季节变化对黄河口渔业资源结构影响的相对重要性,以期评价黄河口调水调沙事件生态影响,探索其影响机制提供科学依据,为研究黄河口及邻近海域渔业资源的长期变化

提供科学数据,同时也为河口区渔业资源的生态修复保护、增殖养护发展和可持续利用提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 数据来源

样品于2011—2013年夏季黄河调水调沙前(6月)、后(7月)采自黄河口及其邻近水域,调查海域范围为 $37^{\circ}40' \sim 38^{\circ}09' \text{N}$, $119^{\circ}00' \sim 119^{\circ}40' \text{E}$ (表1)。以黄河入海口为中心,向外呈辐射状设置5条断面,共18个站位,以断面—序号命名,两侧2条断面各设置3个站位,中间3条断面各有4个站位(图1)。

调查船为鲁昌渔64193,渔船功率260 kW,网口周长30.6 m,囊网网目20 mm,拖曳时网口扩张宽度约8 m。每一站理论上拖曳0.5 h,拖速3 kn。记录每站渔获物的数量,对渔获物进行鉴定,记录每一种类的重量和尾数,根据每一站位拖网速度及拖网时间,对渔业资源调查数据进行标准化处理,将其换算为单位时间渔获重量(kg/h)。

1.2 分析方法

1.2.1 种类组成和优势种 采用种类更替率^[13]来分析黄河口及其邻近水域渔业资源生物种类组成的变化:

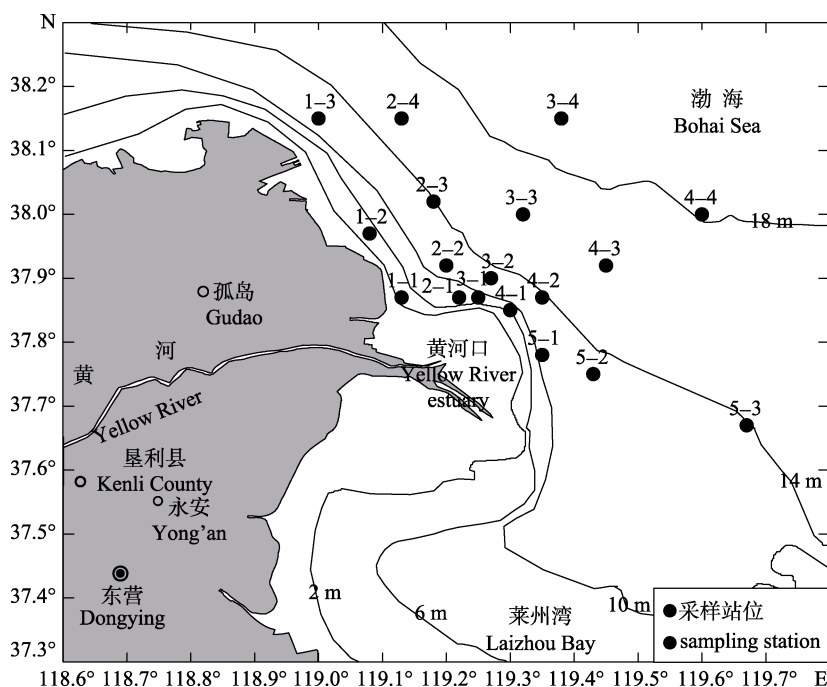


图1 黄河口及邻近海域渔业资源调查站位

Fig. 1 Survey stations for fishery resources in the Yellow River estuary of this study

表 1 调查站位及其经纬度
Tab. 1 Survey stations and its latitude and longitude

调查站位 survey station	调查年份			经度	纬度
	2011	2012	2013	latitude	longitude
1-1		*	*	119°08′	37°52′
1-2	*	*	*	119°05′	37°58′
1-3	*	*	*	119°00′	38°09′
2-1			*	119°13′	37°52′
2-2	*		*	119°12′	37°55′
2-3	*	*	*	119°11′	38°01′
2-4		*	*	119°08′	38°09′
3-1		*	*	119°15′	37°52′
3-2	*	*		119°16′	37°54′
3-3	*	*	*	119°19′	38°00′
3-4		*	*	119°23′	38°09′
4-1			*	119°18′	37°51′
4-2	*	*	*	119°21′	37°52′
4-3	*	*	*	119°27′	37°55′
4-4		*	*	119°36′	38°00′
5-1		*	*	119°21′	37°47′
5-2	*	*	*	119°26′	37°45′
5-3	*	*	*	119°40′	37°40′

$$A(\%) = \frac{C}{C + S} \times 100\%$$

式中, C 为 2 个月间物种增加及减少数, S 为 2 个月间共有种数, 更替率 A 是指将调水调沙前后相比较的更替情况。

渔业生物群落中的优势种类采用相对重要性指数(IRI)^[14] 来确定:

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

式中, N 代表某一种类的个体数占总个体数的百分率(%), W 代表某一种类的生物量占总生物量的百分率(%), F 为出现频率, 即某一种类的在该次调查中出现的站位数占总站位数的百分率(%)。本研究中将 $IRI > 500$ 定为优势种, $100 < IRI < 500$ 为重要种, $10 < IRI < 100$ 为常见种, $IRI < 10$ 为罕见种^[15]。

1.2.2 生物量和群落结构分析 2011—2013 年黄河口渔业资源密度分布图采用 Surfer 11 软件绘制, 并通过单因素方差分析对 2011—2013 年黄河口渔业资源密度变化进行显著性检验。根据每一站位拖网速度及拖网时间, 对渔业资源调查数据进行标准化处理, 将其换算为单位时间渔获重量(kg/h), 并计

算 2011—2013 各年夏季的平均资源密度:

$$\text{平均资源密度} = \frac{\text{总资源密度}}{\text{调查站位数}}$$

利用 CLUSTER 与 MDS 方法对渔业资源群落结构进行分析, 分析过程中选用数据为生物量占前 90% 的渔业资源种类, 并以断面进行分组。为平衡优势种和稀有种在群落中的作用, 对数据进行 $\ln(x+1)$ 转换, 计算 Bray-Curtis 相似性系数^[16]。分析使用的软件为 PRIMER 5。

2 结果与分析

2.1 种类组成

调查共捕获渔业资源种类 101 种, 鱼类 53 种, 占总种数的 52.48%, 其中鲈形目最多, 为 30 种; 虾类 25 种, 主要以葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)为主; 蟹类 19 种, 寄居蟹(*Pagurus* sp.)和日本蟳(*Charybdis japonica*)的种类数最多; 头足类有短蛸(*Octopus ochellatus*)、枪乌贼(*Loligo* spp.)、双喙耳乌贼(*Sepiola birostrata*)、长蛸(*Octopus variabilis*) 4 种, 以枪乌贼种类数最多。

调水调沙前后物种更替率为 32.67%, 调水调沙前鉴定渔业资源生物 84 种, 其中鱼类有 44 种, 虾类 18 种, 蟹类 18 种, 头足类 4 种; 调水调沙后鉴定渔业资源生物 85 种, 其中鱼类有 47 种, 虾类 19 种, 蟹类 15 种, 头足类 4 种(表 2)。

表 2 2011—2013 年黄河口海域渔业资源种类组成
Tab. 2 The species composition of fishery resources in the Yellow River estuary from 2011 to 2013

分类地位 classification status	种类数 the number of species
鱼类 fish	53
鲈形目 Pleuronectiformes	5
鲱形目 Clupeiformes	7
鲑形目 Salmoniformes	1
海龙目 Syngnathiformes	1
鲤形目 Osteichthyes	1
鲈形目 Perciformes	30
鲷形目 Tetraodontiformes	2
仙鱼目 Aulopiformes	1
鲉形目 Scorpaeniformes	5
虾类 shrimp	18
蟹类 crab	18
头足类 cephalopods	4

2.2 优势种

矛尾虾虎鱼、枪乌贼、葛氏长臂虾和短吻红舌鲷在 2011—2013 年渔业资源调查中占有优势, 其中矛尾虾虎鱼在调水调沙前后相对重要性指数均为最大。调水调沙前后渔业资源优势种数量有一定的变化(表 3), 2011 年调水调沙前优势种 9 种, 调水调沙后有优势种 8 种; 2012 年调水调沙前优势种 8 种, 调水调沙后有优势种 9 种; 2013 年调水调沙前有优势种 6 种, 调水调沙后优势种为 5 种。调水调沙前后渔业资源优势种组成有明显变化: 2011 年调水调沙前为矛尾虾虎鱼、枪乌贼、短鳍鲷等, 调水调沙后短鳍鲷、绯鲷、脊腹褐虾、日本鼓虾等优势种不再占有优势, 出现新优势种斑尾刺虾虎鱼、口虾蛄、

日本蟳; 2012 年调水调沙后出现新优势种斑鲷、斑尾刺虾虎鱼、青鳞小沙丁鱼, 而调水调沙前的绯鲷、日本鼓虾则不再是优势种。2013 年调水调沙后出现新优势种脊尾白虾, 调水调沙前的日本鼓虾则不再占有优势。

2.3 平均资源密度的时空变化

2011—2013 年夏季黄河口渔业资源密度整体呈先增加后减少的趋势(图 2), 存在显著的年际变化($P<0.05$)。调水调沙后平均资源密度高于调水调沙前(图 3)。2011—2013 年调水调沙前后黄河口资源密度分布如图 4 所示, 可以看出, 调水调沙前渔业资源密度分布较均匀, 调水调沙后各站位的渔业资源密度出现明显差别, 异质性较大。

表 3 2011—2013 年黄河口海域调水调沙前(6 月)和调水调沙后(7 月)渔业资源优势种组成及其 IRI 值
Tab. 3 Dominant species composition of fishery resource and their IRI in the Yellow River estuary before (June) and after (July) the water and sediment discharge regulation from 2011 to 2013

种类 species	2011.6	2011.7	2012.6	2012.7	2013.6	2013.7
矛尾虾虎鱼 <i>Chaemrichthys stigmatias</i>	5494.26	5046.8	3066.41	5245.22	9699.08	6328.28
枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	1590.35	1405.45	1385.05	2694.3	1341.21	747.81
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	1110.99	1625.3	1527.25	844.29	828.98	688.87
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	959.16	955.99	701.06	548.69	1014.32	551.47
寄居蟹 <i>Pagurus</i> sp.	1473.68	609	620.17	522.49	689.59	
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>		691.28	1014.37	2144.45		
脊尾白虾 <i>Exopalamon carinicauda</i>						3116.06
绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>	1117.88		550.21			
斑尾刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius ommaturus</i>		967.85		634.72		
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	656.83				871.22	
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>		1215.43				
短鳍鲷 <i>Callionymus sagitta</i>	1165.88					
斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>				929.82		
日本褐虾 <i>Crangon hakodatei</i>			853.05			
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	750.39					
青鳞小沙丁 <i>Sardinella zunasi</i>				746.99		

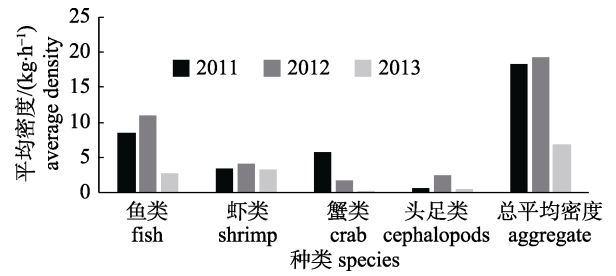


图 2 2011—2013 年夏季黄河口渔业资源平均密度年际变化

Fig. 2 Interannual variation of average density of fishery stock in the Yellow River estuary in summer from 2011 to 2013

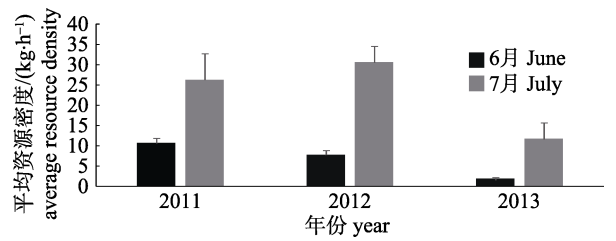


图 3 2011—2013 年黄河口渔业平均资源密度调水调沙前(6 月)和调水调沙后(7 月)变化

Fig. 3 The changes of average fishery stock density in the Yellow River estuary before (June) and after (July) the water and sediment discharge regulation from 2011 to 2013

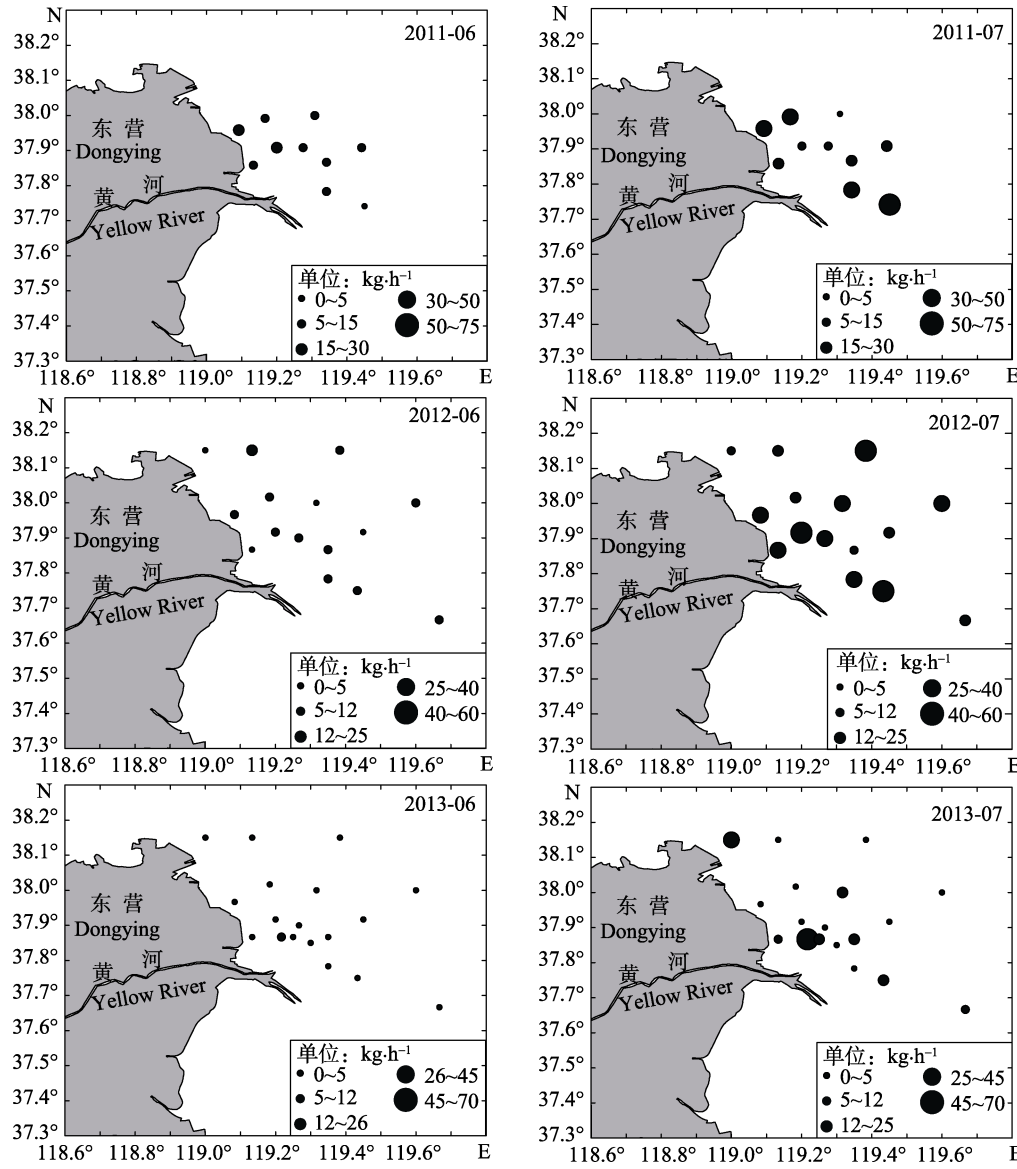


图 4 2011—2013 年调水调沙前(6 月)和调水调沙后(7 月)黄河口渔业资源密度的空间分布
Fig. 4 Spatial distribution of fishery stock density in the Yellow River estuary before (June) and after (July) the water and sediment discharge regulation from 2011 to 2013

2.4 渔业资源群落结构

2011—2013 年黄河口渔业资源群落结构聚类分析结果如图 5 所示。以断面进行 CLUSTER 聚类分析, 结果表明, 以 52%相似性水平可以将 2011—2013 年黄河口渔业资源群落分为 3 个组群: I 组群(2011 年 6 月所有断面和 2011 年 7 月断面 1、2、3、4, 组内相似性为 59.95%)、II 组群(2012 年 6 月所有断面和 2012 年 7 月所有断面, 组内相似性为 62.52%)、III 组群(2013 年 6 月所有断面和 2013 年 7 月所有断面, 组内相似性为 49.64%), 每一组又可以分为 6 月、7 月两个组。MDS 分析结果与 CLU-

STER 分析结果基本一致, 按照月份划分为 6 个群组(i~vi 组群)。

SIMPER 分析得到对 I 组群相似性贡献较大的种类有短吻红舌鲷、矛尾虾虎鱼、寄居蟹、日本鼓虾、短鳍鲷和枪乌贼, 相似性累计贡献百分比达 60.49%; 对 II 组群相似性贡献较大的种类有枪乌贼、矛尾虾虎鱼、葛氏长臂虾、口虾蛄、短吻红舌鲷和寄居蟹, 相似性累计贡献百分比为 77.53%; 对 III 组群相似性贡献较大的种类有矛尾虾虎鱼、枪乌贼、短吻红舌鲷、葛氏长臂虾、日本蟳、日本鼓虾和寄居蟹, 相似性累计贡献百分比为 85.35%(表 4)。

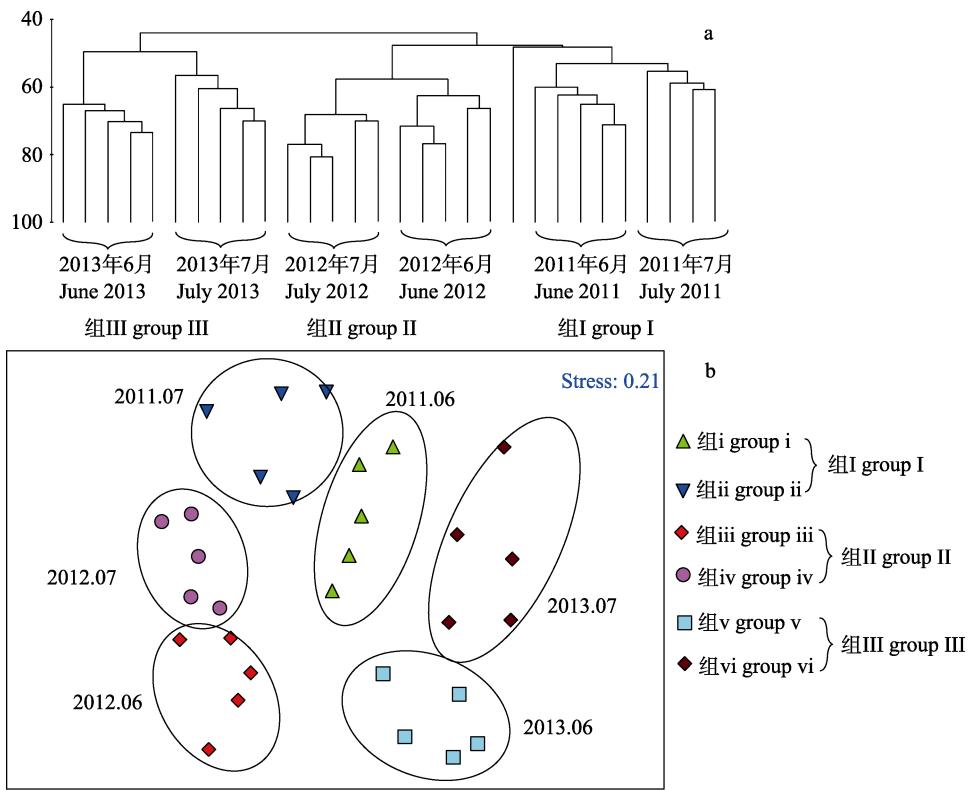


图 5 2011—2013 年黄河口渔业资源群落结构聚类分析(a)和 MDS 分析(b)
Fig. 5 Cluster and MDS analysis for the fishery resources assemblages in the Yellow River estuary from 2011 to 2013

表 4 2011—2013 年黄河口渔业资源群落各组群典型种及其对组内相似性贡献百分比(>5%)
Tab. 4 Typifying species within station groups and their contributions for fish assemblage in the Yellow River estuary from 2011 to 2013 (>5%)

种类 species	I 组群 group I	II 组群 group II	III 组群 group III
矛尾虾虎鱼 <i>Chaemrichthys stigmatias</i>	13.25	18.35	33.77
枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.	6.05	18.45	16.38
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	13.56	8.93	11.23
寄居蟹 <i>Pagurus</i> sp.	10.23	5.37	5.35
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>		13.63	6.78
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	9.52		5.73
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>		12.8	
短鳍鲷 <i>Callionymus sagitta</i>	7.88		
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>			6.11

研究比较了调水调沙前后群落结构的变化。结果表明 2011 年 6、7 月所属的 i、ii 组群间的平均差异性达到 67.51%，对 i、ii 两个组群相异性贡献较大的种类有红线黎明蟹、日本蟳、豆形拳蟹、斑尾刺虾虎鱼、葛氏长臂虾和短吻红舌鲷，相异性累计贡

献百分比为 47.99%；iii、iv 为 2012 年调水调沙前后两个组群，组群间的平均差异性为 70.18%，主要分歧种有矛尾虾虎鱼、口虾蛄、斑鲷、枪乌贼、青鳞小沙丁和斑尾刺虾虎鱼，相异性累计贡献百分比为 70.15%；2013 年 6、7 月所属的 v、vi 组群间的平均差异性为 77.57%，主要分歧种有脊尾白虾、矛尾虾虎鱼、水母深额虾和枪乌贼，相异性累计贡献百分比为 81.61% (表 5)。

3 讨论

本次调查优势种类主要是小型种类，如矛尾虾虎鱼、短吻红舌鲷和口虾蛄等，而 20 世纪 80、90 年代的调查显示，黄河口及邻近水域主要优势鱼种有小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、六丝钝尾虾虎鱼(*Chaeturichthys hexanema*)、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)等^[17]，在本次调查中，小黄鱼和蓝点马鲛等重要经济鱼种已经不再占有优势，优势种出现了明显的更替。调水调沙前后优势种有明显变化：调水调沙后斑鲷、斑尾刺虾虎鱼等生活于沿海、港湾及河口咸、淡水交混处的鱼类相对重要性指数较大，这可能是因为调水调沙后径流量增大^[18]，为河

表 5 2011—2013 年黄河口渔业资源群落调水调沙前后各组分分歧种及其对组间差异性贡献百分比(>5%)
Tab. 5 Discriminating species and their contributions for fish assemblage in the Yellow River estuary of before and after the water and sediment discharge regulation from 2011 to 2013 (>5%)

种类 species	i 组群和 ii 组群 group i & group ii	iii 组群和 iv 组群 group iii & group iv	v 组群和 vi 组群 group v & group vi
矛尾虾虎鱼 <i>Chaemrichthys stigmatias</i>		21.67	22.3
脊尾白虾 <i>Exopalamon carincauda</i>			40.93
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>		15.24	
枪乌贼 <i>Loligo</i> sp.		9.72	5.1
斑尾刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius ommaturus</i>	7.21	6.14	
水母深额虾 <i>Latreutes anoplonyx</i>			13.28
红线黎明蟹 <i>Matuta planipes</i>	10.78		
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	10.77		
斑鲆 <i>Konosirus punctatus</i>		10.46	
豆形拳蟹 <i>Philyra pisum</i>	7.38		
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	6.97		
青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>		6.92	

口区带来大量淡水, 盐度适应性较强的斑鲆等鱼类更能适应河口区新的环境, 因而成为调水调沙后的优势种。同样的, 2013 年调水调沙后出现新优势种脊尾白虾, 脊尾白虾为近岸广盐广温广布种, 对环境适应性强, 对盐度的适应范围较广, 可在盐度 4.3~35 的水体中生活^[19], 因而成为调水调沙后的新优势种。

研究还指出 2013 年渔业资源密度较 2012 年大幅下降, 这可能由以下 2 个原因引起: (1) 2013 年黄河径流量达到历史最大^[20], 冲淡水的过量注入会使河口区盐度在短时间内大幅降低, 因此可能会对盐度适应范围较窄的渔业资源生物产生较大影响, 从而使河口区资源密度降低。(2)长期的调水调沙工程可能会对渔业资源的生长和繁殖产生一些消极影响。但要了解和预测黄河口渔业资源状况及其年际变化趋势与径流量的关系, 仍需进一步开展两者相关性的研究工作。

调水调沙前后平均资源密度变化明显, 从整体上看调水调沙后平均资源密度增加。调水调沙可能

是引起该变化的重要原因之一: (1)调水调沙带来的大量营养盐为浮游生物的生长提供了营养^[21-22], 使渔业资源生物的饵料增加, 渔业资源密度增大; (2)调水调沙后, 黄河入海径流短时间内剧增, 带入许多生物碎屑, 为斑鲆等食碎屑鱼类提供了丰富的饵料, 使其在河口区集中^[23]。另外季节变化也会对资源密度变化产生影响, 许多在春季繁殖的鱼类, 7 月份较 6 月份体重增加, 导致资源密度增大。但要分析和了解调水调沙前后资源密度变化的具体原因, 仍需进行深入研究, 例如对不同环境因子与资源密度相关性进行分析等。调水调沙前渔业资源密度分布较均匀, 调水调沙后各站位的渔业资源密度分布出现明显异质性, 其中斑尾刺虾虎鱼、短吻红舌鲷、绯鲷、葛氏长臂虾、脊尾白虾、口虾蛄、枪乌贼等渔业资源生物在远离河口的站位资源密度增加明显。这与张会军^[24]对 2010—2012 年福建九江河口鱼类资源密度分布和史赟荣^[25]对长江口鱼类资源密度分布的研究结果相一致, 这可能是因为调水调沙使河口区水量增大, 入海泥沙通量增加, 不利于渔业资源生物生存^[26], 从而迁移到离河口区较远的水域生活。

根据聚类分析结果可以看出, 虽然调水调沙对黄河口渔业资源产生了一定影响, 但年际变化对黄河口渔业资源的影响大于调水调沙对渔业资源的影响。日本蟳对 2011 年调水调沙前后组群相异性贡献较大, 且仅在调水调沙后为优势种, 这可能是因为调水调沙带来丰富的营养盐, 使浮游生物大量繁殖, 而日本蟳常以小鱼、小虾及小型贝类动物为捕食对象, 浮游生物繁殖为日本蟳饵料生物的生长提供了良好条件, 使其生物量增大。此外, 日本蟳在 5 月中旬至 6 月下旬产卵^[27], 可能造成 7 月调查时渔获中的日本蟳生物量和丰度较大。矛尾虾虎鱼对 2012 年和 2013 年调水调沙前后群组差异性贡献最大, 但其在调水调沙前后调查中均为优势种, 因此这种差异可能是矛尾虾虎鱼在生物量上的改变引起的, 原因可能是: (1)幼鱼生长, 被网具捕获; (2)底层水温对矛尾虾虎鱼资源丰度的时空分布影响极显著^[28], 7 月份水温升高, 浮游植物大量繁殖, 矛尾虾虎鱼的饵料生物增加, 从而使其生物量增大。但要进一步了解渔业资源群落结构在 6、7 月发生变化的具体原因仍需进行深入的研究。

本研究根据 2011—2013 年黄河口渔业资源的调查数据,分析了黄河口海域渔业资源密度及其年际变化,同时还结合调水调沙事件分析了渔业资源在调水调沙前后的变化。研究表明黄河口渔业资源在种类组成、优势种、资源密度分布、群落结构等方面有显著的时空变化。渔业资源生物年际变化最为明显,其次才是调水调沙前后变化,而断面间的差异性最低。基于以上结果,本研究认为调水调沙并不是本海域渔业资源变动的主要影响因素。

本次调查以月为单位,未比较在更小的时空尺度上(如以天为单位)调水调沙事件的影响。另外,本次研究没有对不同调查网具产生的影响进行分析,使本次调查数据与历史资料可比性有所欠缺。要全面了解黄河口海域渔业资源变化状况和调水调沙事件的影响,仍需开展进一步的研究工作,完成对黄河口海域渔业资源连续的季度及周年调查,以期为黄河口渔业资源资源保护提供科学依据。今后的研究将探讨缓解黄河调水调沙事件对渔业资源资源量和结构变动的影响的方法,为黄河调水调沙生态影响评价提供科学依据,同时为河口渔业资源生态修复和可持续发展提供基础资料。

参考文献:

- [1] Zhang X, Zhang X M, Gao T X, et al. Composition of catches by beam trawl and its seasonal variations in Yellow River estuary[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2009, 30(6): 118–124. [张旭, 张秀梅, 高天翔, 等. 黄河口海域弓子网渔获物组成及其季节变化[J]. *渔业科学进展*, 2009, 30(6): 118–124.]
- [2] Zhou Y J, Liu C F. Research progress of water and sediment regulation in the Yellow River[J]. *Haihe Water Resources*, 2009(6): 54–57. [周银军, 刘春锋. 黄河调水调沙研究进展[J]. *海河水利*, 2009(6): 54–57.]
- [3] Su Z J. Research on the impact of the water-sediment regulation on phytoplankton assemblages and the environment in the adjacent sea of the Yellow River mouth[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2015. [苏芝娟. 调水调沙对黄河口邻近海域浮游植物群落和环境的影响研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2015.]
- [4] Lv Z B, Li F, Qu Y B, et al. Fish community diversity in the Huanghe estuary and its adjacent area in summer, 2010[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(2): 10–18. [吕振波, 李凡, 曲业兵, 等. 2010 年夏季黄河口及邻近海域鱼类群落多样性[J]. *渔业科学进展*, 2013, 34(2): 10–18.]
- [5] Zheng L. Preliminary study of fish community structure in Yellow River Estuary waters[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014. [郑亮. 黄河口海域鱼类群落结构初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.]
- [6] Zhang X. Primary study on fishery resources investigation and evaluation of the Yellow River Estuary[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009. [张旭. 黄河口海域渔业资源调查及现状评价的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.]
- [7] Sun K J, Luo X X, Zhang J L, et al. The assessment of benthic community health and habitat suitability in Huanghe estuary and its adjacent area[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2015, 45(12): 107–112. [孙凯静, 罗先香, 张龙军, 等. 黄河口及邻近海域底栖群落健康及生境适宜性评价[J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2015, 45(12): 107–112.]
- [8] Zhang J Y, Zhang J J, Shen H B, et al. Effects of water and sediment regulation at Xiaolangdi Dam on the fish assemblages from Hukou to Sanmenxia section of Yellow River[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(10): 2613–2618. [张军燕, 张建军, 沈红保, 等. 小浪底水库调水调沙对壶口至三门峡段鱼类群落结构的影响[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(10): 2613–2618.]
- [9] Jie Z L, Zhu W J. Effects of water and sediment regulation at Xiaolangdi Dam on the fishery resources in the lower reaches of the Yellow River and countermeasure research[J]. *Henan Fisheries*, 2010(1): 7–9. [介子林, 朱文锦. 小浪底水库调水调沙对黄河下游渔业资源影响及对策研究[J]. *河南水产*, 2010(1): 7–9.]
- [10] Zhu G Q, Zhao R L, Hu Z P, et al. Impacts of water and sand diversion in Xiaolangdi reservoir on fish and ecologically sensitive areas in the middle Yellow River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(5): 7–12. [朱国清, 赵瑞亮, 胡振平, 等. 小浪底水库调水调沙对黄河中游鱼类及生态敏感区的影响[J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(5): 7–12.]
- [11] Zheng L, Lv Z B, Li F, et al. Fish community structure in the Yellow River estuary: Effect of water and sediment discharge regulations[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(3): 602–610. [郑亮, 吕振波, 李凡, 等. 调水调沙期间黄河口海域鱼类群落结构特征[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(3): 602–610.]
- [12] Li S W, Zhang Y, Li F, et al. Effects of water and sediment discharge regulation on macrobenthic community in the Yellow River Estuary[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, 28(2): 259–266. [李少文, 张莹, 李凡, 等. 调水调沙对黄河口海域大型底栖动物群落的影响[J]. *环境科学研究*, 2015, 28(2): 259–266.]

- [13] Liu R Y. Ecology and Living Resources of Jiaozhou Bay[M]. Beijing: Science Press, 1992. [刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992.]
- [14] Pincas L M, Oliphant S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in Californian waters[J]. Calif Fish Game Fish Bull, 1971, 152: 1–105.
- [15] Yang Y Y, Li Z Y, Wu Q, et al. Interannual variations in community structure and species diversity of fishery resources in the Laizhou Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(1): 22–29. [杨尧尧, 李忠义, 吴强, 等. 莱州湾渔业资源群落结构和多样性的年际变化[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(1): 22–29.]
- [16] Zhang J L. Biodiversity and community structure of macrobenthos in the Yellow Sea[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Science, 2012. [张均龙. 黄海大型底栖生物多样性与群落结构的研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012.]
- [17] Chen D G, Jiao Y, Liu Q, et al. Fish species diversity in the Huanghe Estuary[J]. Acta Oceanol Sin, 2000, 19: 125–135.
- [18] Wang K R. Impact and evaluation of water and sediment regulation in the Yellow River on the estuary and its delta[J]. Journal of Sediment Research, 2005(6): 29–33. [王开荣. 黄河调水调沙对河口及其三角洲的影响和评价[J]. 泥沙研究, 2005(6): 29–33.]
- [19] Liang J P, Li J, Li J T, et al. Effects of salinity on spawning and larval development of *Exopalaemon carinicauda*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(7): 2105–2113. [梁俊平, 李健, 李吉涛, 等. 盐度对脊尾白虾亲虾抱卵及其子代生长发育的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(7): 2105–2113.]
- [20] Wu L X, Zhao M, Li J W, et al. The water sediment regulation characteristics analysis of the Yellow River Estuary from 2012 to 2014[J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2015, 45(6): 23–25. [吴立新, 赵敏, 李建文, 等. 2002–2014年黄河口调水调沙特征分析[J]. 山东林业科技, 2015, 45(6): 23–25.]
- [21] Liu X T, Liu G X. Net-phytoplankton community structure of the Huanghe estuary and its adjacent area in summer of 2009[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(1): 153–162. [刘晓彤, 刘光兴. 2009年夏季黄河口及其邻近水域网采浮游植物的群落结构[J]. 海洋学报, 2012, 34(1): 153–162.]
- [22] Ma J, Chen H J, Liu G X. Study on the zooplankton community structure in the Yellow River Estuary and its adjacent waters in summer, 2007[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(5): 74–80. [马静, 陈洪举, 刘光兴. 2007年夏季黄河口及其邻近水域浮游动物的群落特征[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2012, 42(5): 74–80.]
- [23] Yang Y Y, Li X Q, Jin X S, et al. Effects of annual sediment flux from the Yellow River on the fishery resources structures in the Laizhou Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(5): 703–711. [杨尧尧, 李秀启, 金显仕, 等. 黄河入海泥沙年际通量对莱州湾渔业资源结构的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(5): 703–711.]
- [24] Zhang H J. Study on the fish resources in Jiulong River Estuary, Fujian[D]. Xiamen: Jimei University, 2013. [张会军. 福建九龙江河口区鱼类资源现状研究[D]. 厦门: 集美大学, 2013.]
- [25] Shi Y R. Studies on fish community diversity and community dynamics based on multivariate analysis in the Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012. [史赞荣. 长江口鱼类群落多样性及基于多元排序方法群落动态的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.]
- [26] Jie Z L, Hu Y D, Zhang K, et al. Study on the measures to reduce the effects of water and sediment regulation on fish resources in Xiaolangdi Dam[J]. Henan Fisheries, 2012(1): 31–32. [介子林, 胡亚东, 张坤, 等. 减缓小浪底水库调水调沙对鱼类资源影响措施研究[J]. 河南水产, 2012(1): 31–32.]
- [27] Xu X H, Yan B L, Zheng J S, et al. Study on the development of sex gland and reproductive cycle of *Charybdis japonica*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2010(2): 29–36. [许星鸿, 阎斌伦, 郑家声, 等. 日本扇的性腺发育和生殖周期[J]. 海洋湖沼通报, 2010(2): 29–36.]
- [28] Liu X, Zhang C L, Ren Y P, et al. Spatiotemporal variation in the distribution and abundance of *Chaeturichthys stigmatias* in the Yellow River estuary and adjacent waters[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(4): 791–798. [刘潇, 张崇良, 任一平, 等. 黄河口及邻近水域矛尾虾虎鱼资源丰度的时空分布[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 791–798.]

Composition and distribution of fishery resources before and after the water and sediment discharge regulation in the Yellow River estuary

CHEN Ning¹, YANG Yanyan², WEI Zhenhua², XU Binduo¹, XUE Ying¹, ZHANG Chongliang¹

1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China

Abstract: Water and sediment regulation involves artificially depositing sediments from rivers and reservoirs to the sea, thus increasing the main channel discharge capacity. Based on survey data before and after water and sediment regulation (June and July) in the Yellow River during 2011–2013, we used the index of relative importance (IRI), ANOVA, and multivariate analysis to evaluate the effect of this regulation procedure on fishery resources (species composition, distribution, and dominance) in the Yellow River estuary. We identified 92 species, including 52 fish species. *Chaemrichthys stigmatias*, *Loligo chinensis*, and *Palaemon gravieri* were dominant species, although their exact ranking varied across years. From 2011 to 2013, biomass first increased, then decreased, whereas fishery resources clearly changed in structure before and after water and sediment regulation. Average fishery resource density increased after water discharge and was low near the river mouth. CLUSTER analysis showed that between-year variation in community structure was the greatest, followed by variation resulting from water and sediment regulation, and finally, by variation between sampling sections. Post-regulation changes in water input and nutrient concentration of the Yellow River likely contribute to the variation in species composition and distribution in the region.

Key words: Yellow River estuary; water and sediment discharge regulation; fishery resource; spatiotemporal variation; community structure

Corresponding author: ZHANG Chongliang. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn