

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17374

渤海鱼类群落结构关键种

李忠义^{1, 2, 3}, 吴强^{1, 2, 3}, 单秀娟^{1, 2, 3}, 杨涛^{1, 2, 3}, 戴芳群^{1, 2, 3}, 金显仕^{1, 2, 3}

1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266235;

3. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 山东 青岛 266071

摘要: 基于 2012—2016 年每年 8 月渤海鱼类资源量底拖网调查数据, 对鱼类群落进行了 CLUSTER 聚类分析和 MDS 标序, 根据组间差异种和组内相似种年际贡献率, 筛选鱼类群落结构关键种, 结果显示: (1) 在 29.93%~35.69% 的相似性水平上, 2012—2016 年各年度渤海鱼类群落分组情况良好, 相应 MDS 系数都小于 0.2。(2) 2012—2016 年渤海鱼类组间种类组成差异都极显著($P=0.001$), 贡献组间 80% 累积差异性, 且出现率超过 50% 的鱼类, 4 个年度共有的种有鳀(*Engraulis japonicus*)、3 个年度共有的种有黄鲫(*Setipinna taty*); 组间差异性贡献率大于 10%, 且出现率超过 50% 的鱼类, 3 个年度共有种仅有鳀, 2 个年度共有种仅有黄鲫。(3) 贡献 2012—2016 年渤海鱼类群落组内相似性 80% 累积贡献率, 且出现率超过 50% 的鱼类, 2 个年度共有的种有鳀、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)和矛尾复虾虎鱼(*Synechogobius hasta*); 组内相似性贡献率大于 10%, 且出现率超过 50% 的鱼类, 3 个年度共有种有鳀, 2 个年度共有种有矛尾虾虎鱼和矛尾复虾虎鱼。(4) 依据 2012—2016 年渤海鱼类群落结构相似性与差异性中各鱼种累积贡献率和单贡献率的大小和出现频率, 推断鳀是渤海鱼类群落结构的首要关键种, 其次为黄鲫, 然后是矛尾虾虎鱼和矛尾复虾虎鱼。这 4 种鱼的站位平均资源量对中层鱼类及底层鱼类站位平均资源量的比例及相关性和回归性, 以及年度的优势度指数也证实上述关键种观点。综上所述, 渤海鱼类群落结构首要关键种为鳀, 其次为黄鲫, 渤海鱼类关键种的研究可为渤海捕捞产业的调整和渔业资源的养护提供科学依据。

关键词: 渤海; 鱼类; 群落结构; 关键种; 资源评估

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)02-0229-08

关键种理论是 Paine^[1]于 1969 年提出的生态学的基本理论, 现今广泛采用的关键种定义由 Power 等^[2]于 1996 年提出。关键种是指在生态系统和食物网中具有关键作用的种类, 其影响大小和其自身的丰度并不一定成比例, 关键种在维持生态系统结构及演替上起着重要作用。

作为半封闭性内海, 渤海近几年渔业资源结构发生明显变化^[3-6]。资源衰退严重, 如 2009—2010 年鳀(*Engraulis japonicus*)的生物量仅为 1982 年的 2%, 2010 年蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)

的生物量为 1982 年的 9%^[5]; 生物多样性下降, 渤海鱼类种类数由 1959 年的 71 种下降到 2010 年的 40 种^[3, 6]; 优势种由小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、蓝点马鲛等大型中上层鱼类转变为鳀和虾虎鱼(*Chaeturichthys* sp.)^[6]。本研究通过分析 2012—2016 年每年 8 月渤海鱼类资源量底拖网调查数据, 统计各鱼种对年度群落结构组间相似性和组内差异性贡献率的大小和出现频率, 遴选群落结构的关键种, 旨在摸清渤海鱼类生态系统的结构组成、关键种的地位, 了解生物多样性下降及维持

收稿日期: 2017-10-26; 修订日期: 2017-11-21.

基金项目: 国家 973 计划项目(2015CB453303); 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划(2015ASKJ02); 农业部公益性行业科研专项(2013030503); 农业部黄渤海渔业资源环境重点野外科学观测试验站和山东省泰山学者工程专项.

作者简介: 李忠义(1974—), 副研究员, 主要从事海洋生态研究. E-mail: lizy@ysfri.ac.cn

通信作者: 金显仕, 研究员. E-mail: jin@ysfri.ac.cn

群落结构稳定的影响因素,掌握系统演替方向,为渤海渔业资源的养护提供科学依据,进而有的放矢开展渤海生态系统的恢复构建和渔业资源的管理。

1 材料与方法

1.1 数据来源

鱼类资源数据来源于 2012—2016 年各年份 8 月 59 个站位渔业资源拖网调查,调查区域为 $37^{\circ}00' \sim 41^{\circ}00'N$; $118^{\circ}00' \sim 122^{\circ}00'E$ (图 1)。渔业资源评估调查租用 205 kW 双拖渔船,使用专用调查网具,规格为网口高度 6 m,网口宽度 22.6 m,网口周长 1740 目,网目 63 mm,囊网网目 20 mm,拖速 3 节,每站拖网 1 h。

1.2 分析方法

鱼类资源量的估算采用扫海面积法,其中底层鱼类捕获率取 0.5,中上层鱼类取 0.3。为统计渤海 2012—2016 年各鱼种对站位组间群落结构相似性与差异性的贡献率和总贡献次数,先对渤海各年度鱼类群落进行分组,然后对两组两两间进行群落结构相似性和差异性分析,统计各鱼种在组间比较的贡献率和出现次数,汇总鱼种年度贡献率和贡献次数,最后合计鱼种 2012—2016 年总的贡献率和贡献次数。对鱼类群落进行 CLUSTER 聚类(Bray Curtis)和 MDS 标序分析前,先将鱼类资源量原始数据进行四次方根转换标准化,并去掉各站位中的稀有种,只保留各站位中资源量占总资源量至少 3% 的鱼种。

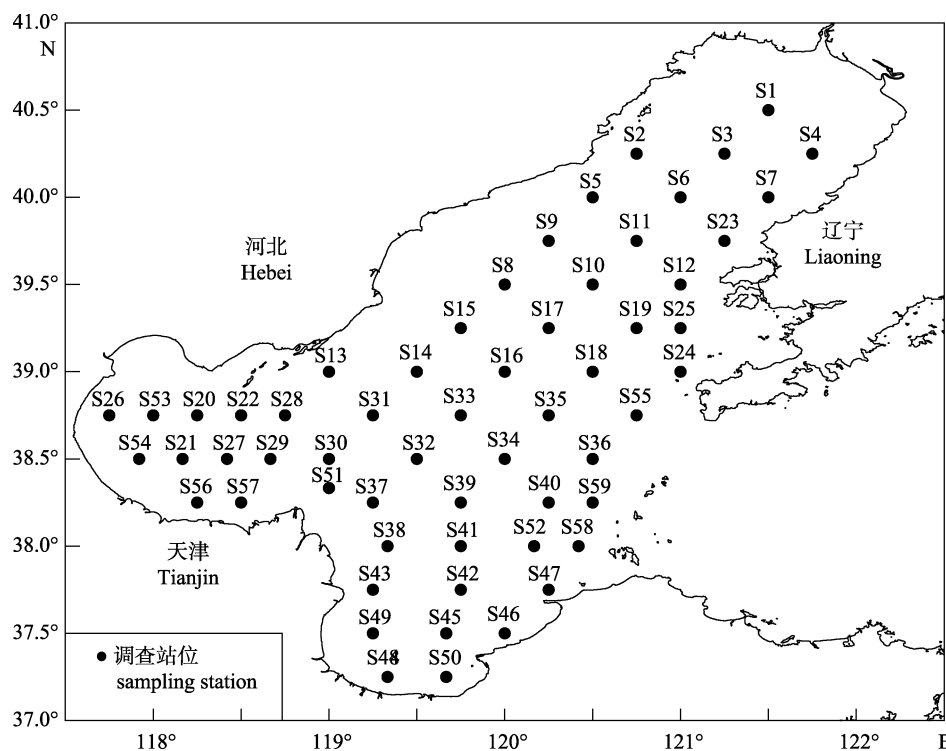


图 1 渤海渔业资源调查站位
Fig. 1 Sampling stations in Bohai Sea

2 结果与分析

2.1 种类组成

2012 年捕获鱼类 34 种,隶属 9 目 24 科 32 属;2013 年捕获鱼类 29 种,隶属 6 目 19 科 25 属;2014 年捕获鱼类 33 种,隶属 6 目 21 科 29 属;2015 年

捕获鱼类 38 种,隶属 10 目 27 科 37 属;2016 年捕获鱼类 51 种,隶属 10 目 30 科 46 属。

2.2 群落结构分组

2012—2016 年每年 8 月渤海各站位鱼类群落 CLUSTER 聚类分析结果如表 1 所示。

表 1 2012—2016 年 8 月渤海鱼类群落结构
Tab. 1 Fish community structure in Bohai Sea in August among year 2012–2016

年份 year	分组相似性系数/% group similarity	组数 number of groups	单独站位组 group with one station	组平均相似性系数/% group mean similarity	组相似性系数范围/% similarity range	应力系数 stress coefficient
2012	32	7	1	55.52	44.41~73.14	0.18
2013	35.49	9	2	48.22	35.49~54.56	0.16
2014	35.69	6	2	48.50	38.65~53.03	0.14
2015	31.49	5	0	48.11	31.49~63.32	0.18
2016	29.93	6	1	37.67	29.93~55.25	0.15

2012—2016 年 8 月渤海各站位鱼类群落聚类分组情况良好, 拟合度较好, MDS 应力系数都小于 0.2。

2.3 群落结构差异性

对 2012—2016 年鱼类组群种类组成进行单因子相似性分析(ANOSIM), 发现各年度种类结构差异都极显著(P 都为 0.001)。2012—2016 年渤海鱼类群落结构差异性 SIMPER 分析结果见表 2。

贡献了 2012—2016 年渤海鱼类群落组间差异性 80%累积贡献率, 且在所有组间出现率超过 50%的鱼类, 2012 年有细纹狮子鱼、鲢、矛尾虾虎鱼、小黄鱼、黄鲫和许氏平鲉, 2013 年有鲢、矛尾复虾虎鱼和青鳞沙丁鱼, 2014 年有绿鳍马面鲀、六丝矛尾虾虎鱼、大银鱼、斑鲹、黄鲫、蓝点马鲛、鲢、小带鱼和赤鼻棱鲢, 2015 年只有矛尾复虾虎鱼, 2016 年有黄鲛、矛尾虾虎鱼、六丝矛尾虾虎鱼、蓝点马鲛、许氏平鲉、黄鲫、小带鱼、细条天竺鲷、斑鲹、鲱鲮、青鳞沙丁鱼、鲢、牙鲆和方氏云鲷。上述种类没有 5 个年度全共有的种, 4 个年度共有的种有鲢; 3 个年度共有的种有黄鲫。

2012—2016 年渤海鱼类群落组间差异性贡献率大于 10%, 且在所有组间出现率超过 50%的鱼类, 2012 年有小黄鱼和黄鲫; 2013 年有鲢、黄鲛和青鳞沙丁鱼; 2014 年没有在所有组间出现率超过 50%的鱼类, 出现次数最高的为鲢和绿鳍马面鲀, 出现率均为 46.67%; 2015 年有矛尾虾虎鱼、黄鲫和六丝矛尾虾虎鱼; 2016 年也没有在所有组间出现率超过 50%的鱼类, 出现次数最高的为鲢和大菱鲆, 出现率均为 46.67%。上述种类没有 4 个年度以上全共有的种, 3 个年度共有的种仅有

鲢, 2 个年度共有的种仅有黄鲫。

2.4 群落结构相似性

2012—2016 年渤海鱼类群落结构相似性分析结果如表 3 所示。

贡献了 2012—2016 年渤海鱼类群落组内相似性 80%累积贡献率, 且在所有组内出现率超过 50%的鱼类, 2012 年有矛尾虾虎鱼、鲢和小黄鱼; 2013 年没有在所有组内出现率超过 50%的鱼类, 出现次数最高的为鲢和矛尾复虾虎鱼, 出现率均为 28.57%; 2014 年有蓝点马鲛、六丝矛尾虾虎鱼和小带鱼; 2015 年也没有在所有组内出现率超过 50%的鱼类, 出现次数最高的为矛尾复虾虎鱼, 出现率均为 42.86%; 2016 年有矛尾虾虎鱼、鲱鲮和黄鲛。上述种类没有 3 个年度以上全共有的种, 2 个年度共有的种有鲢、矛尾虾虎鱼和矛尾复虾虎鱼。

2012—2016 年渤海鱼类群落组内相似性贡献率大于 10%, 且在所有组内出现率超过 50%的鱼类, 2012 年有鲢、黄鲫、矛尾虾虎鱼和小黄鱼; 2013 年没有在所有组内出现率超过 50%的鱼类, 出现次数最高的为鲢和矛尾复虾虎鱼, 出现率均为 28.57%; 2014 年有鲢、蓝点马鲛、六丝矛尾虾虎鱼和小带鱼; 2015 年也没有在所有组内出现率超过 50%的鱼类, 出现次数最高的为矛尾复虾虎鱼, 出现率为 42.86%; 2016 年有矛尾虾虎鱼和黄鲛。上述种类没有 4 个年度以上全共有的种, 3 个年度共有的种有鲢, 2 个年度共有的种有矛尾虾虎鱼和矛尾复虾虎鱼。

3 讨论

3.1 鱼类种类

2012—2016 年, 渤海总鱼类、底层鱼类的种

表 2 2012—2016 年 8 月渤海鱼类群落结构差异性

Tab. 2 Fish community structure difference in Bohai Sea in August among year 2012—2016

年份 year	差异性范围/% differences range	组间差异性贡献率大于 10% 的种类及出现次数 species with more than 10% differences contribution in each group and their occurrence times	组间差异性累积贡献率为 80% 的种类及出现次数 species with 80% cumulative difference contribution in each group and their occurrence times
2012	67.49~100.00	a. 10 次(10 times): 小黄鱼(<i>Pseudosciaena polyactis</i>)、黄鲫(<i>Setipinna taty</i>)、细纹狮子鱼(<i>Liparis tanakae</i>)、矛尾虾虎鱼(<i>Chaeturichthys stigmatias</i>); b. 9 次(9 times): 鳀(<i>Engraulis japonicus</i>); c. 7、6、5 次 (7, 6, and 5 times): 许氏平鲉(<i>Sebastes schlegelii</i>)、小带鱼(<i>Eupleurogrammus muticus</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>); d. 1 次(1 time): 青鳞沙丁鱼(<i>Sardinella zunasi</i>).	14~9 次(14 to 9 times): 细纹狮子鱼(<i>Liparis tanakae</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、矛尾虾虎鱼(<i>C. stigmatias</i>)、小黄鱼(<i>P. polyactis</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、斑鲹(<i>Konosirus punctatus</i>)、赤鼻棱鳀(<i>Thryssa kammalensis</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、黄鲛鲷(<i>Lophius litulon</i>).
2013	67.33~100.00	a. 15、14、13、11、9 次 (15, 14, 13, 11, and 9 times): 鳀(<i>E. japonicus</i>)、黄鲛鲷(<i>L. litulon</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、矛尾复虾虎鱼(<i>Synechogobius hasta</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>); b. 8 次 (8 times): 斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、银鲷(<i>Pampus argenteus</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、日本鲭(<i>Scomber japonicus</i>)、绿鳍马面鲈(<i>Thamnaconus modestus</i>); c. 5 次 (5 times): 细纹狮子鱼(<i>L. tanakae</i>); d. 3 次 (3 times): 黄鲫(<i>S. taty</i>)、大银鱼(<i>Protosalanx hyalocranius</i>); e. 2、1 次(2 and 1 time): 长吻红舌鲷(<i>Cynoglossus lighti</i>)、鲱(鱼鲱)(<i>Callionymus beniteguri</i>).	26~5 次(26 to 5 times): 黄鲛鲷(<i>L. litulon</i>)、斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、鲱(鱼鲱)(<i>C. beniteguri</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、黄鳍马面鲈(<i>Thamnaconus hypargyreus</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、绿鳍马面鲈(<i>T. modestus</i>)、矛尾复虾虎鱼(<i>S. hasta</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、日本鲭(<i>S. japonicus</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、细纹狮子鱼(<i>L. tanakae</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、小黄鱼(<i>P. polyactis</i>)、银鲷(<i>P. argenteus</i>).
2014	65.58~94.66	a. 7 次(7 times): 鳀(<i>E. japonicus</i>)、绿鳍马面鲈(<i>T. modestus</i>); b. 6 次(6 times): 蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>); c. 5 次(5 times): 青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、细纹狮子鱼(<i>L. tanakae</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、方氏云鲷(<i>Enedrias fangi</i>); d. 4 次(4 times): 斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>); e. 3、2 次(3 and 2 times): 六丝矛尾虾虎鱼(<i>Chaeturichthys hexanema</i>)、大银鱼(<i>P. hyalocranius</i>).	13~2 次(13 to 2 times): 斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、大银鱼(<i>P. hyalocranius</i>)、方氏云鲷(<i>E. fangi</i>)、黄鲛鲷(<i>L. litulon</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、六丝矛尾虾虎鱼(<i>C. hexanema</i>)、绿鳍马面鲈(<i>T. modestus</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、日本鲭(<i>S. japonicus</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、细纹狮子鱼(<i>L. tanakae</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>).
2015	68.83~97.67	a. 26、15、13、10 次 (26, 15, 13, and 10 times): 矛尾复虾虎鱼(<i>S. hasta</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、六丝矛尾虾虎鱼(<i>C. hexanema</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>); b. 8 次(8 times): 斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、银鲷(<i>P. argenteus</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>); c. 5、3、1 次(5, 3, and 1 time): 赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、日本鲭(<i>S. japonicus</i>)、褐菖鲉(<i>Sebastes marmoratus</i>).	26~1 次 (26 to 1 time): 矛尾复虾虎鱼(<i>S. hasta</i>)、六丝矛尾虾虎鱼(<i>C. hexanema</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、褐菖鲉(<i>S. marmoratus</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、细纹狮子鱼(<i>L. tanakae</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、日本鲭(<i>S. japonicus</i>)、许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>)、银鲷(<i>P. argenteus</i>)、鲱(鱼鲱)(<i>C. beniteguri</i>)、白姑鱼(<i>Argyrosomus argentatus</i>).
2016	50.00~90.25	a. 7 次(7 times): 鳀(<i>E. japonicus</i>)、大菱鲆(<i>Scophthalmus maximus</i>); b. 6 次(6 times): 斑鲹(<i>K. punctatus</i>); c. 5 次(5 times): 黄鲫(<i>S. taty</i>)、牙鲆(<i>Paralichthys olivaceus</i>); d. 4 次(4 times): 许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>)、鲷(<i>Platycephalus indicus</i>); e. 1 次(1 time): 方氏云鲷(<i>E. fangi</i>).	24~2 次(24 to 2 times): 黄鲛鲷(<i>L. litulon</i>)、矛尾虾虎鱼(<i>C. stigmatias</i>)、六丝矛尾虾虎鱼(<i>C. hexanema</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、细条天竺鱼(<i>Apogonichthys lineatus</i>)、斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、鲱(鱼鲱)(<i>C. beniteguri</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、牙鲆(<i>P. olivaceus</i>)、方氏云鲷(<i>E. fangi</i>)、大泷六线鱼(<i>Hexagrammos otakii</i>)、鲷(<i>P. indicus</i>)、白姑鱼(<i>A. argentatus</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、小黄鱼(<i>P. polyactis</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、长蛇鲻(<i>Saurida elongata</i>)、大菱鲆(<i>S. maximus</i>)、丝虾虎鱼(<i>Cryptocentrus filifer</i>)、日本鲭(<i>S. japonicus</i>)、中华栉孔虾虎鱼(<i>Ctenotrypauchen chinensis</i>)、黄盖鲈(<i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>)、矛尾复虾虎鱼(<i>S. hasta</i>)、长绵鲷(<i>Enchelyopus elongatus</i>).

表 3 2012—2016 年 8 月渤海鱼类群落结构相似性
Tab. 3 The fish community structure similarity in Bohai Sea in August among year 2012—2016

年份 year	相似性范围/% similarity range	组内相似性贡献率大于 10% 的种类及出现次数 species with more than 10% similarity contribution in each group and their occurrence times	组内相似性累积贡献率为 80% 的种类及出现次数 species with 80% cumulative similarity contribution in each group and their occurrence times
2012	44.41~73.14	3~1 次(3 to 1 time): 黄鲫(<i>S. taty</i>)、矛尾虾虎鱼(<i>C. stigmatias</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、小黄鱼(<i>P. polyactis</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>)	3~1 次(3 to 1 time): 矛尾虾虎鱼(<i>C. stigmatias</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、小黄鱼(<i>P. polyactis</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、赤鼻棱鳀(<i>Thryssa kammalensis</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、细纹狮子鱼(<i>Liparis tanakae</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>)
2013	35.49~54.56	2~1 次 (2 to 1 time): 矛尾复虾虎鱼(<i>S. hasta</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、黄鲛鰈(<i>L. litulon</i>)、斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、日本鲭(<i>S. japonicus</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)	2~1 次 (2 to 1 time): 矛尾复虾虎鱼(<i>S. hasta</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、黄鲛鰈(<i>L. litulon</i>)、斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、日本鲭(<i>S. japonicus</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)
2014	38.65~53.03	2~1 次 (2 to 1 time): 蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、六丝矛尾虾虎鱼(<i>C. hexanema</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、绿鳍马面鲀(<i>T. modestus</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)	2~1 次 (2 to 1 time): 蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、六丝矛尾虾虎鱼(<i>C. hexanema</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、绿鳍马面鲀(<i>T. modestus</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)
2015	35.23~80.47	3~1 次 (3 to 1 time): 矛尾复虾虎鱼(<i>S. hasta</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、褐菖鲉(<i>S. marmoratus</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、日本鲭(<i>S. japonicus</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、银鲷(<i>P. argenteus</i>)	3~1 次 (3 to 1 time): 矛尾复虾虎鱼(<i>S. hasta</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、褐菖鲉(<i>S. marmoratus</i>)、蓝点马鲛(<i>S. niphonius</i>)、日本鲭(<i>S. japonicus</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>)、银鲷(<i>P. argenteus</i>)
2016	47.61~58.89	3~1 次 (3 to 1 time): 黄鲛鰈(<i>L. litulon</i>)、矛尾虾虎鱼(<i>C. stigmatias</i>)、鲱鲈(<i>C. beniteguri</i>)、六丝矛尾虾虎鱼(<i>C. hexanema</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>)、白姑鱼(<i>A. argentatus</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、大泷六线鱼(<i>H. otakii</i>)、方氏云鲷(<i>E. fangi</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、鲷(<i>P. indicus</i>)	5~1 次 (5 to 1 time): 矛尾虾虎鱼(<i>C. stigmatias</i>)、鲱鲈(<i>C. beniteguri</i>)、黄鲛鰈(<i>L. litulon</i>)、黄鲫(<i>S. taty</i>)、六丝矛尾虾虎鱼(<i>C. hexanema</i>)、鳀(<i>E. japonicus</i>)、小带鱼(<i>E. muticus</i>)、许氏平鲉(<i>S. schlegelii</i>)、白姑鱼(<i>A. argentatus</i>)、斑鲹(<i>K. punctatus</i>)、长蛇鲷(<i>S. elongata</i>)、长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)、赤鼻棱鳀(<i>T. kammalensis</i>)、大泷六线鱼(<i>H. otakii</i>)、方氏云鲷(<i>E. fangi</i>)、青鳞沙丁鱼(<i>S. zunasi</i>)、丝虾虎鱼(<i>C. filifer</i>)、细条天竺鱼(<i>A. lineatus</i>)、小黄鱼(<i>P. polyactis</i>)、鲷(<i>P. indicus</i>)、中华栉孔虾虎鱼(<i>C. chinensis</i>)

类数变化较大, 2012 年至 2013 年递减, 但 2013 年至 2016 年一直呈上升趋势, 科、属及暖温种的种类数也有此变化趋势; 冷温种和暖水种的种类数没有明显的变化规律, 波动较大; 中上层鱼类的种类数变化不大, 基本上维持在 9 种左右, 仅 2015 年为 8 种。1959 年至 2011 年莱州湾渔业资源群落食物网经历了 5 个阶段的演变过程, 从最初的“以鱼食性种类为主的食物网”演替至“以底栖生物食性种类为主的食物网”^[4]; 莱州湾渔业资源群落平均营养级也从 4.4 下降到 3.4, 平均每 10 年下降 0.19^[4]; 渤海鱼类种类数由 1959 年的 71 种、1982 年的 61 种、1992 年的 53 种、1998 年的 32 种下降到 2010 年的 40 种^[3, 6]。由于环境污染和捕捞压力的加大, 目前渤海生态系统已逆行

演替至群落结构相对简单的阶段, 上层鱼类浮游动物食性和杂食性鱼类占优, 底层鱼类主以杂食性的虾虎鱼为主, 组成上和结构上都比较简单。

3.2 鱼类群落结构特征种

2012—2016 年各年度渤海鱼类不同组群种类组成差异都极显著(P 均为 0.001)。年度群落组间差异性种的种类及数量变化较大, 从组间差异性各鱼种累积贡献率、单贡献率大小和出现频率可以判断, 鳀是渤海鱼类群落差异性的首要特征种, 其次为黄鲫; 年度群落组内相似性种的种类及数量变化没有组间差异种变化大, 从组内相似性各鱼种累积贡献率、单贡献率大小和出现频率也可推测, 鳀是渤海鱼类群落相似性的首要特征种, 其次为矛尾虾虎鱼和矛尾复虾虎鱼。

邓景耀等^[7]在 20 世纪 80 年代对渤海饵料生物进行了分析,发现浮游动物、鼓虾、短尾类、虾虎鱼和鳀为主要饵料生物。环境污染和过度捕捞导致渤海渔业资源衰退,特别是高级肉食性鱼类资源量大幅减少,包括以虾虎鱼为食的鲷类和以鳀为食的蓝点马鲛。为了种群的延续,海洋鱼类的生态对策纷纷经历了由 k 选择到 r 选择方向的演变,加强生殖能力以补充种群资源^[8],其中体型小,生命周期短、繁殖力强、食性简单的鳀与虾虎鱼在演变中据有先导优势^[9-10],成为渤海的主要鱼种。

3.3 鱼类群落结构关键种

鳀与黄鲫是中上层鱼类,矛尾虾虎鱼和矛尾复虾虎鱼是底层鱼类,是目前渤海鱼类结构的主要组成。

2012—2016 年,鳀与黄鲫两者资源量分别占中上层鱼类资源量的 37.54%、82.12%、81.54%、89.86%和 73.29%;矛尾虾虎鱼和矛尾复虾虎鱼资源量分别占底层鱼类资源量的 8.21%、30.50%、2.26%、54.62%和 48.49%。计算 2012—2016 年各鱼种的优势度(IRI),发现鳀优势度在各年度始终位居第一,第二位的鱼类有黄鲫、矛尾复虾虎鱼和斑鲷,年度出现次数分别为 3 次、1 次和 1 次,第三位的鱼类有六丝矛尾虾虎鱼、矛尾虾虎鱼、矛尾复虾虎鱼和黄鲫,年度出现次数分别为 2 次、1 次、1 次、1 次。

2012—2016 年渤海鱼类鳀年际站位平均资源量与底层鱼类站位平均资源量间存在一定的相关性,但没有显著相关性($r=0.86$, 小于 $\alpha=0.05$ 时对应的 r 值 0.88);与中上层鱼类站位平均资源量间存在显著的正相关性($r=0.94$, 大于 $\alpha=0.05$ 时对应的 r 值 0.88),且有显著的回归关系 ($r=0.02$, 小于 $\alpha=0.05$ 显著水准)。进一步分析发现,鳀与黄鲫的年际站位平均资源量之和与底层鱼类站位平均资源量间存显著相关性($r=0.94$, 大于 $\alpha=0.05$ 时对应的 r 值 0.88),且有显著的回归关系 ($r=0.02$, 小于 $\alpha=0.05$ 显著水准);与中上层鱼类站位平均资源量间存在极其显著的正相关性 ($r=0.996$, 大于 $\alpha=0.01$ 时对应的 r 值 0.96),且有极其显著的回归关系 ($r=0.0003$, 小于 $\alpha=0.01$

显著水准)。

矛尾虾虎鱼和矛尾复虾虎鱼的年际站位平均资源量或者两者的和与中上层鱼类或底层鱼类站位平均资源量间均不存在显著相关性和回归性。

鳀单种鱼类的年际站位平均资源量与底层鱼类站位平均资源量间存在一定的相关性,但没有显著相关性,而鳀与黄鲫的年际站位平均资源量之和与底层鱼类站位平均资源量间存显著相关性。推测中上层鱼类主要种鳀与黄鲫的资源量,特别是鳀的资源量,对底层鱼类资源量存在较大影响,进而可能影响整个鱼类群落结构。2012—2016 年渤海鳀与黄鲫的资源量和优势度指数也证实鳀是渤海鱼类群落结构的首要关键种,其次为黄鲫。

葛宝明等^[11]综述了生态学关键种的研究方法,并对各种方法进行了优劣比较,目前主要有控制模拟实验法、等同优势种法、竞争优势阻碍法、物种相互作用相对重要性法、群落重要性指数法、关键性指数法和功能重要性指数法等 7 种方法。前 2 种可操作性强,结果可测,但第一种方法对复杂的群落和生态系统,效果不是很理想,第二种方法中优势种的定义与关键种有很大的区别;后 5 种方法影响因素多,计算复杂,条件理想化。

目前国内对鱼类关键种的研究相对较少,孙龙启等^[12]采用 Libralato 等^[13]提出的关键度指数计算出北部湾鱼类群落的关键种二长棘鲷 (*Paerargyrops edita*),该方法与葛宝明等^[11]提及的 Jordán 等^[14]关键性指数法类似,主要是食物网中关键种营养上下行影响效应研究。二长棘鲷与本研究渤海关键种鳀一样是物质和能量传递种,捕食浮游动物等低营养级生物,同时也是许多众多高营养级生物的饵料。杨涛等^[15]以摄食关系为基础构建了 2011 年 5 月莱州湾鱼类群落种间相互关系网,运用网络分析法计算了关系网的 13 种指数,在此基础上计算出细纹狮子鱼是关键捕食者,六丝矛尾虾虎鱼是关键被捕食者。除了研究方法的差别,其研究时间与本文不一致,因鳀通常在 5 月下旬至 6 月上旬到达渤海^[16],所以两种方法得出的结果无法比较。本研究结果认为鳀是渤海鱼类群落结构关键种,这与苏纪兰等^[17]的研究结

果一致。

本研究基于资源量年际调查数据, 通过分析鱼类群落结构组间差异性和组内相似性各鱼种贡献率的大小和出现频率, 遴选渤海鱼类群落结构的关键种, 具有一定的参考价值。不管何种研究方法得出的关键种, 只有摸清关键种对鱼类群落结构的调控机制, 才能更好地确定其生态作用和可持续的开发渔业资源。

参考文献:

- [1] Paine R T. A note on trophic complexity and community stability[J]. The American Naturalist, 1969, 103(929): 91-93.
- [2] Power M E, Tilman D, Estes J A, et al. Challenges in the quest for keystones[J]. BioScience, 1996, 46(8): 609-620.
- [3] Jin X S. The dynamics of major fishery resources in the Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2001, 7(4): 22-26. [金显仕. 渤海主要渔业生物资源变动的研究[J]. 中国水产科学, 2001, 7(4): 22-26.]
- [4] 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.]
- [5] Lin Q, Wang J, Yuan W, et al. Effects of fishing and environmental change on the ecosystem of the Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(3): 619-629. [林群, 王俊, 袁伟, 等. 捕捞和环境变化对渤海生态系统的影响[J]. 中国水产科学, 2016, 23(3): 619-629.]
- [6] Li Z Y, Wu Q, Shan X J, et al. Interannual variations in fish community structure in the Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 403-413. [李忠义, 吴强, 单秀娟, 等. 渤海鱼类群落结构的年际变化[J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 403-413.]
- [7] Deng J Y, Meng T X, Ren S M. Food web of fishes in Bohai Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 1986, 6(4): 356-364. [邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类食物关系的初步研究[J]. 生态学报, 1986, 6(4): 356-364.]
- [8] Zhu X G, Fang Y Y, Yan L J, et al. The ecological strategy evolution of marine fishes under high intensity fishing environment[J]. Bulletin of Science and Technology, 2009, 25(1): 51-55. [朱晓光, 房元勇, 严力蛟, 等. 高捕捞强度环境下海洋鱼类生态对策的演变[J]. 科技通报, 2009, 25(1): 51-55.]
- [9] Li X M, Ye Z J, Li Z G, et al. Spatial and temporal changes of the egg size of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) inhabiting the near shore spawning ground of central Yellow Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(2): 54-60. [李秀梅, 叶振江, 李增光, 等. 黄海中部近岸产卵场日本鳀卵子大小的时空变化[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2016, 46(2): 54-60.]
- [10] Zeng L, Li X S, Zhao X Y, et al. Fecundity and its variations of anchovy *Engraulis japonicus* in the central and southern Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(5): 569-574. [曾玲, 李显森, 赵宪勇, 等. 黄海中南部鳀鱼的生殖力及其变化[J]. 中国水产科学, 2005, 12(5): 569-574.]
- [11] Ge B M, Bao Y X, Zheng X. A review on key species study in ecology[J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(6): 102-106. [葛宝明, 鲍毅新, 郑祥. 生态学中关键种的研究综述[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 102-106.]
- [12] Sun L Q, Lin Y S, Chen L X, et al. Analysis of ecosystem structure and function in the northern Beibu Gulf VII: Nutrition structure and keystone species selection based on Ecopath with Ecosim[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2016, 35(4): 51-62. [孙龙启, 林元烧, 陈俐晓, 等. 北部湾北部生态系统结构与功能研究 VII: 基于 Ecopath 模型的营养结构构建和关键种筛选[J]. 热带海洋学报, 2016, 35(4): 51-62.]
- [13] Libralato S, Christensen V, Pauly D. A method for identifying keystone species in food web models[J]. Ecological Modelling, 2006, 195(3-4): 153-171.
- [14] Jordán F, Takács-Sánta A, Molnár I. A reliability theoretical quest for keystones [J]. Oikos, 1999, 86(3): 453-462.
- [15] Yang T, Shan X J, Jin X S, et al. Keystone species of fish community in the Laizhou Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(10): 1613-1623. [杨涛, 单秀娟, 金显仕, 等. 莱州湾鱼类群落的关键种[J]. 水产学报, 2016, 40(10): 1613-1623.]
- [16] Ye M Z, Zhang S. The distribution and behavior of *Engraulis japonicus* Temminck and Schlegel and its detection in the north China Seas (Hwanghai and Pohai)[J]. Journal of Fisheries of China, 1965, 2(2): 27-34. [叶懋中, 章隼. 黄渤海区鳀鱼的分布、洄游和探索方法[J]. 水产学报, 1965, 2(2): 27-34.]
- [17] Su J L, Tang Q S. Study of Ecosystem Dynamics in Coastal Ocean II: Processes of Bohai Sea Ecosystem Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2002: 241. [苏纪兰, 唐启升. 中国海洋生态系统动力学研究 II: 渤海生态系统动力学过程[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 241.]

Keystone species of fish community structure in the Bohai Sea

LI Zhongyi^{1,2,3}, WU Qiang^{1,2,3}, SHAN Xiujuan^{1,2,3}, YANG Tao^{1,2,3}, DAI Fangqun^{1,2,3}, JIN Xianshi^{1,2,3}

1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Qingdao 266071, China;
2. Laboratory for Marine Fisheries and Aquaculture, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266235, China;
3. Shangdong Provincial Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

Abstract: This study applied cluster analysis and MDS sequence analysis to catch-rate data of fish species from bottom-trawl surveys in the Bohai Sea in August of 2012 to 2016. We selected keystone species of the fish community in the Bohai Sea, based on the annual contributions of similar species within clusters and different species between various clusters. (1) When the similarity contribution rate ranged from 29.93% to 35.69%, the fish communities in the Bohai Sea were clustered into 7, 9, 6, 5 and 6 groups for 2012–2016 consecutively, with corresponding MDS coefficients equaling 0.16, 0.14, 0.18, 0.15, and 0.17 respectively. (2) There were significant differences ($P=0.001$) in the species composition of the fish community groups among the five years. The fish species were identified for each year that had cumulatively contributed to about 80% of the difference between community groups and occurred in more than half of the groups. Unfortunately, no common species was identified for all five years. *Engraulis japonicus* was identified in four years, and *Setipinna taty* was identified in three years. For species which contributed to more than 10% of the between-groups difference and displayed a more than 50% of occurrence in a year, none occurred in four or five years, only *Engraulis japonicas* and *Setipinna taty* occurred in three years. (3) Similarly, the fish species were identified for each year that had cumulatively contributed to about 80% of the difference within groups and occurred in more than half of the groups. No species were common to three or more years. Three species (i.e. *Engraulis japonicas*, *Chaeturichthys stigmatias*, and *Synechogobius hasta*) occurred in two of the five years. For species which had contributed to more than 10% of the within-groups difference and displayed greater than 50% occurrence in a year, no species occurred in more than four years, only *Engraulis japonicas* occurred in three years, and *Chaeturichthys stigmatias* and *Synechogobius hasta* occurred in two years. (4) Based on the annual cumulative or single similarity or difference contribution rates of every fish species to community groups, we conclude that *Engraulis japonicas* is the primary keystone species in the fish community structure of the Bohai Sea, the *Setipinna taty* is the second one, which is then followed by *Chaeturichthys stigmatias* and *Synechogobius hasta*. This conclusion is supported by the ratio, correlation, and regression of the average catches per station of these four species to that of all the pelagic or demersal species, and the annual dominance indices of these species. Results of this study provide a scientific basis for the adjustment of the fishing industry and the maintenance of fishery resources in the Bohai Sea.

Key words: Bohai Sea; fish; community structure; keystone species; stock assessment

Corresponding author: JIN Xianshi. E-mail: jin@ysfri.ac.cn