

DOI: 10.5846/stxb201306101579

李凡, 周兴, 张岚, 任中华, 吕振波. 山东近海鱼类群落分类多样性. 生态学报, 2015, 35(7): 2322-2330.

Li F, Zhou X, Zhang L, Ren Z H, Lü Z B. Taxonomic diversity of fish assemblages in coastal waters off Shandong. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2322-2330.

山东近海鱼类群落分类多样性

李 凡¹, 周 兴², 张 岚³, 任中华¹, 吕振波^{1,*}

¹ 山东省海洋资源与环境研究院, 山东省海洋生态修复重点实验室, 烟台 264006

² 胶南市海洋与渔业局, 青岛 266499

³ 烟台市水产研究所, 烟台 264003

摘要: 根据相关文献整理了山东近海鱼类名录, 并根据 1998—2009 年山东近海鱼类调查名录, 应用平均分类差异指数 (Δ^+) 和分类差异变异指数 (Λ^+) 研究了鱼类分类学多样性特征。结果表明, 山东近海鱼类名录包括 2 纲 28 目 91 科 169 属 225 种, 1998 年调查仅 2 纲 11 目 41 科 58 属 62 种, 2006 年调查为 1 纲 13 目 41 科 71 属 78 种, 2009 年调查为 1 纲 9 目 32 科 55 属 62 种。1998 年—2009 年调查鱼类种类远远低于鱼类名录记录的种数, 分类阶元包含指数较低, 平均每属包含 1.1 种。根据山东近海鱼类名录计算鱼类平均分类差异指数为 66.1, 分类差异变异指数为 141.7; 1998—2009 年历次调查鱼类平均分类差异指数在 60.9—62.7 之间, 分类差异变异指数在 65.4—92.3 之间。将 1998—2009 年历次调查鱼类群落分类多样性指数计算值叠加到山东近海鱼类总名录的 95% 置信漏斗曲线图, 结果表明大部分调查值在置信漏斗曲线之外, 目前山东近海鱼类分类多样性已大幅下降。

关键词: 山东近海; 分类包含指数; 分类多样性; 平均分类差异指数; 分类差异变异指数

Taxonomic diversity of fish assemblages in coastal waters off Shandong

LI Fan¹, ZHOU Xing², ZHANG Lan³, REN Zhonghua¹, LÜ Zhenbo^{1,*}

¹ Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China

² Oceanic and Fisheries Administrator of Jiaonan City, Qingdao 266499, China

³ Yantai Fisheries Research Institute, Yantai 264003, China

Abstract: Maintaining biological diversity is one of the central goals of global biodiversity and ecosystem management. The coastal waters off Shandong, located in the Yellow and Bohai seas of northern China, are important spawning and feeding grounds for many fishery species, and so play an important role in biodiversity maintenance. Assessing taxonomic diversity provides a new method for measuring and interpreting community relationships in the form of inter-species differences. It can be carried out simultaneously in different regions, habitats or surveys and has been widely used in fish community studies. In this study, index and characters of taxonomic diversity of fishes in the coastal waters off Shandong were examined. First, a list of fish in the study area was established. This list was based on several studies from published literature and was established from surveys conducted during 1998 and 2009. Fish classification and nomenclature was adopted from the Nelson classification system and synonymous species were excluded. Then the taxonomic diversity, including the average taxonomic distinctness (Δ^+) and variation in taxonomic distinctness (Λ^+), of fish assemblages was calculated based on the list of fish species. Finally, the survey list of fishes was superpositioned into the total list of fishes in the coastal waters off

基金项目: 泰山学者岗位资助项目 (TS200651036)

收稿日期: 2013-06-10; 修订日期: 2014-10-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ytlvzhenbo@163.com

Shandong and the 95% confidence funnel was calculated. Results show that there were 225 species belonging to 2 classes, 28 orders, 91 families and 169 genera in the checklist of fishes in coastal waters off Shandong. In 2006 there were only 2 classes, 11 orders, 41 families, 50 genera in 1998, 1 class, 13 orders, 41 families, 71 genera and 78 species; and in 2009 there were 1 class, 9 orders, 32 families, 55 genera and 62 species. These results show that the numbers of fish species in coastal waters off Shandong declined in surveys taken between 1998 and 2009. Inclusion index at the taxonomic level was low; with usually only a single species in each genus. The average taxonomic distinctness was 66.1 and variation in taxonomic distinctness was 141.7. In surveys taken between 2006 and 2009, the average taxonomic distinctness was between 60.9 and 62.7 and the variation in taxonomic distinctness was between 65.4 and 92.3. The analysis of 95% confidence funnels showed that almost all surveys were lower than the theoretical mean and was out of 95% confidence funnel, which suggests that the diversity of fishes in coastal waters off Shandong has significantly decreased. The inclusion index of fishes in coastal waters off Shandong was in line with the trend that the inclusion index was higher in tropical waters and lower in high-latitude waters. The average taxonomic distinctness value in coastal waters off Shandong was higher than in other continental shelf waters in China. Due to the large numbers of estuaries, bays, and diverse habitats, the coastal waters off Shandong maintain a fish community with many morphological different species and have a high taxonomic diversity. After decades of overfishing, polluting and habitat loss, the species composition has significantly changed and the taxonomic diversity has significantly declined.

Key Words: Coastal waters off Shandong; inclusion index at taxonomic level; taxonomic diversity; average taxonomic distinctness; variation in taxonomic distinctness

随着社会的发展,生物多样性研究越来越受到全球的关注。生物多样性是生态系统健康的一个重要指标,生物多样性的维持也是全球生物多样性与生态系统管理的中心目标之一^[1-2]。生物多样性不仅包括物种的多样性,还包括物种间进化关系、进化历史以及生态系统等各种层面的多样性^[3]。鱼类群落生态学研究常用的多样性指数,如 Shannon-Wiener 指数,它将群落中每个物种视为一致,没有考虑到各个物种彼此之间在进化关系以及分类距离上的远近。分类多样性指数的提出为度量和解释群落中种类间形态关系的差异提供了新的方法,同时可以对不同区域、不同生境间和历史数据的进行对比研究^[3-9],在大型底栖动物^[10-12]和鱼类^[3,6,13-20]群落研究中得到了广泛应用。在国内,分类学多样性已被用来研究黄海^[6]、黄渤海^[13]、青岛近岸^[14]、东海大陆架^[15]、长江口^[3,16]、东沙群岛^[17]、西沙群岛珊瑚礁^[18]、北部湾^[19]和大亚湾^[20]鱼类群落多样性。本文根据 1998—2009 年山东近海历次调查鱼类种类名录和根据历史文献整理的山东近海鱼类种类名录,分别计算了其分类多样性指数,并将历次调查鱼类分类多样性指数的计算值叠加到黄渤海鱼类总名录^[21]的 95% 置信漏斗曲线图中,研究其偏离总名录分类多样性理论平均值的程度,以期为进一步进行鱼类群落生物多样性研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究海域概况

山东省濒临渤海和黄海,海域面积达 15.95 km²。大陆海岸线北起冀、鲁交界处的漳卫新河河口,南至鲁、苏交界处的绣针河河口,海岸线长达 3 345 km。入海河流众多,大小河流数千条,其中 10 km 以上的河流 1500 条,长度 100 km 以上的河流 12 条。海湾众多,面积总计 8 139 km²,其中面积大于 1 km²的海湾 49 个,包括渤海湾、莱州湾、套子湾、威海湾、桑沟湾、靖海湾、五垒岛湾、乳山湾、丁字湾、崂山湾、胶州湾、海州湾等(图 1)。众多河流、海湾造就了历史上山东近海优越的渔业资源栖息环境,是黄、渤海渔业资源的主要繁衍育肥场所,为我国以及日本、韩国、朝鲜等周边国家提供了丰富的海洋生物资源^[22]。

1.2 数据来源

1998 年数据为“山东半岛近岸生物资源及栖息环境调查与研究调查”项目资料,调查时间为 1998 年 5 月和 10—11 月,调查站位 35 个,调查网具为双船底拖网。2006 年调查数据为“山东近海经济生物调查与评价”项目资料,调查时间为 2006 年 5 月和 10 月,调查站位 82 个(图 1),调查网具为双船变水层拖网。2009 年调查时间和站位数见表 1,调查网具为单船底拖网。

1.3 研究方法

1.3.1 鱼类种类名录的建立

鱼类分类和命名采用 Nelson^[23] 分类系统。根据《山东鱼类志》^[24] 记录的海洋鱼类,合并最新研究结果^[25-27] 证实为同物异名的种类,剔除偶然进入山东海域的种类,建立山东近海鱼类种类目录。根据 1998 年调查、2006 年调查、2009 年调查建立历次调查名录。

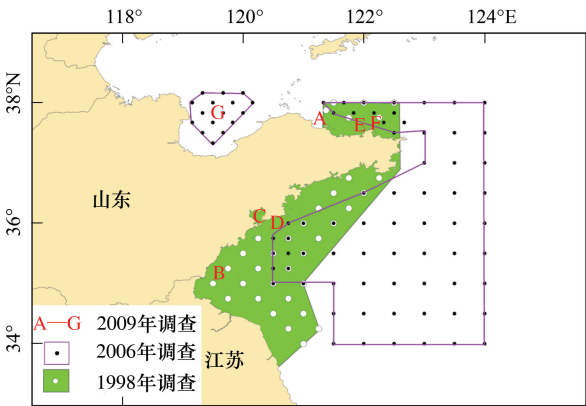


图 1 调查区域及调查站位
Fig.1 Sample area and sample stations

表 1 2009 年调查站位
Table 1 Sample area in 2009

序号 No.	调查年月 Year-month	调查海域 Survey area	调查范围 Location	站位数 Numbers of station
2009A	2009-05	套子湾	121°00′—121°20′E、37°40′—37°50′N	12
2009B	2009-05	日照近海	119°25′—120°20′E、35°00′—35°25′N	23
2009C	2009-06	胶州湾	120°12′—120°18′E、36°02′—36°08′N	12
2009D	2009-06	青岛近海	120°17.5′—120°50′E、35°47.5′—36°02.5′N	12
2009E	2009-09	威海近海	121°40′—120°00′E、37°30′—37°40′N	10
2009F	2009-10	威海近海	121°50′—122°12.5′E、37°35′—37°45′N	12
2009G	2009-11	莱州湾	119°00′—119°50′E、37°10′—37°25′N	20

1.3.2 分类阶元包含指数

为了在各分类阶元上表征鱼类组成之间的多样性,根据李娜娜等^[20] 提出的分类阶元包含指数($TINCL_i$),用以分析各阶元鱼类种类分布的集中程度,解释鱼类物种之间的亲缘关系。分类阶元包含指数 $TINCL_i$ 的计算公式为:

$$TIMCL_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} G_{ki} (k = i)$$

式中, N_i 表示第 i 级分类阶元的数目, C_{kj} 为第 j 个 k 级分类阶段元的数目。通过对比不同海区之间的分类阶元包含指数分析不同环境条件下各海区的鱼类分类组成差异。分类阶元包含指数值越大,表示更多的种(属,科,目)级阶元类群数目归属于属(科、目)级分类阶元的一个类群,说明鱼类在该分类阶元的种类分布越集中,亲缘关系越近。

1.3.3 分类学多样性指数

(1) 平均分类差异指数

平均分类差异指数(Δ^+)计算公式^[28]为:

$$\Delta^+ = \{ \sum_i \sum_{j < i} \omega_{ij} \} / [S(S - 1) / 2]$$

(2) 分类差异变异指数

分类差异变异指数(Λ^+)计算公式为^[29]:

$$\Delta^+ = \left\{ \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2 / [S(S-1)/2] \right\}$$

式中, S 为鱼类种数, ω_{ij} 为第 i 种鱼类与第 j 种鱼类在系统分类树中的路径长度, 不同等级间的权重为 16.7。不同分类等级间加权路径长度权重值见表 2。

表 2 不同分类等级多样性权重值^[29]

Table 2 The branch weight on species at each taxonomic level^[29]

分类等级 Taxon level	路径 Distinctness weight (ω_{ij})	权重值 Branch weight
种 Species	物种属于同一属不同种	16.667
属 Genus	物种属于同一科不同属	33.333
科 Family	物种属于同一目不同科	50.000
目 Order	物种属于同一纲不同目	66.667
纲 Class	物种属于同一门不同纲	83.333

2 结果

2.1 分类阶元组成

《山东省鱼类志》^[20] 记录山东海水鱼类 257 种, 但根据最新的研究^[21, 25-27] 表明, 其中存在部分同物异名种, 如华鲮 (*Raja chinensis*) 和孔鲮 (*Raja porosa*) 均为斑鲮 (*Okamejei kenojei*), 短鳍鲬 (*Callionymus kitaharae*) 是绯鲬 (*Callionymus beniteguri*) 的同物异名, 赵氏狮子鱼 (*Liparis choanus*) 为网纹狮子鱼 (*Liparis chefuensis*) 同物异名种, 矛尾复虾虎鱼 (*Synechogobius hasta*) 和斑尾复虾虎鱼 (*Synechogobius ommaturus*) 为斑尾刺虾虎鱼 (*Acanthogobius ommaturus*) 的同物异名; 部分种类并无标本仅根据其他文献记载认为其分布于黄渤海, 但根据目前的研究证实这些种类并不分布于黄渤海, 仅在极偶然情况下在黄渤海才出现, 如灰鳍鲨 (*Isurus xyrinchus*), 黑印真鲨 (*Carcharhinus menisorrah*), 短吻角鲨 (*Squalus brevirostris*)、鰺 (*Therapon jarbua*)、东方旗鱼 (*Histiophorus orientalis*) 等。删除上述同物异名种以及正常情况无分布的种类, 整理得山东近海鱼类 225 种, 包括 2 纲 28 目 91 科 169 属 225 种。1998 年调查鱼类 2 纲 11 目 41 科 58 属 62 种, 2006 年调查为 1 纲 13 目 41 科 71 属 78 种, 2009 年调查为 2 纲 9 目 32 科 56 属 62 种。1998 年—2009 年调查鱼类种数远远低于山东近海鱼类名录记录的种数 (表 3)。分类阶元包含指数较低, 平均每属仅 1.1 种左右, 每科也不足 2 种。

表 3 黄、渤海及山东近海鱼类分类阶元数

Table 3 Numbers of taxa of fishes in Yellow Sea & Bohai Sea and coastal waters off Shandong

名录 List	种/科 Species/ Family	种/属 Species/ Genus	分类阶元数 Numbers of taxa				
			种 Species	属 Genus	科 Family	目 Order	纲 Class
黄、渤海 Yellow Sea & Bohai sea	2.79	1.45	321	221	115	33	2
山东近海 Coastal waters off Shandong	2.45	1.33	225	169	91	28	2
1998 年调查 Survey in 1998	1.51	1.07	62	58	41	11	2
2006 调查 Survey in 2006	1.90	1.10	78	71	41	13	1
2009 调查 Survey in 2009	1.94	1.11	62	55	32	9	1

2.2 分类学多样性

山东近海鱼类平均分类差异指数为 66.1, 分类差异变异指数为 141.7 (图 2); 1998—2009 年历次调查鱼类平均分类差异指数在 60.9—62.7 之间, 分类差异变异指数在 65.4—92.3 之间 (表 4)。

若将不同调查的群落分类多样性指数的计算值叠加到主名录 (黄渤海鱼类总名录) 的 95% 置信漏斗曲线图中, 可以看出其偏离总名录分类多样性理论平均值的程度。图 3 为将 1998—2009 年历次调查鱼类群落分类多样性指数的计算值叠加到黄渤海鱼类总名录的 95% 置信漏斗曲线图, 从中可以看出, 全部调查值均低于

鱼类主名录理论平均值,且大部分调查值偏出 95%置信漏斗曲线图。

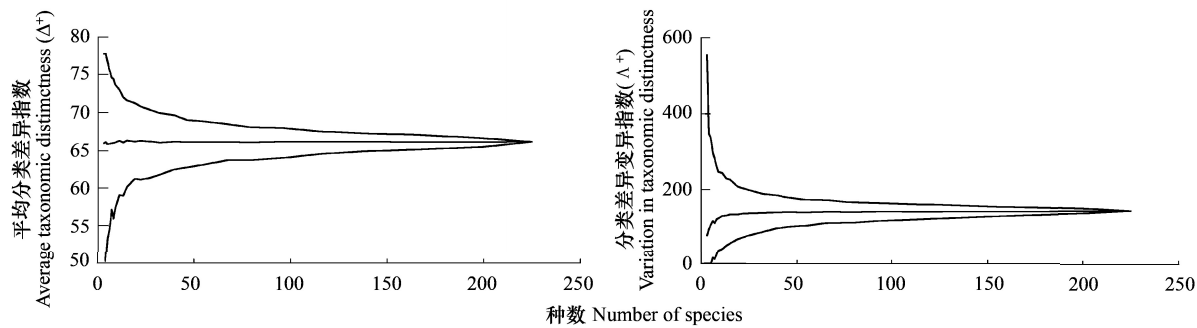


图 2 山东近海鱼类平均分类差异指数和分类差异变异指数

Fig.2 Average taxonomic distinctness index and variation in taxonomic distinctness index offshes in Yellow Sea and Bohai Sea

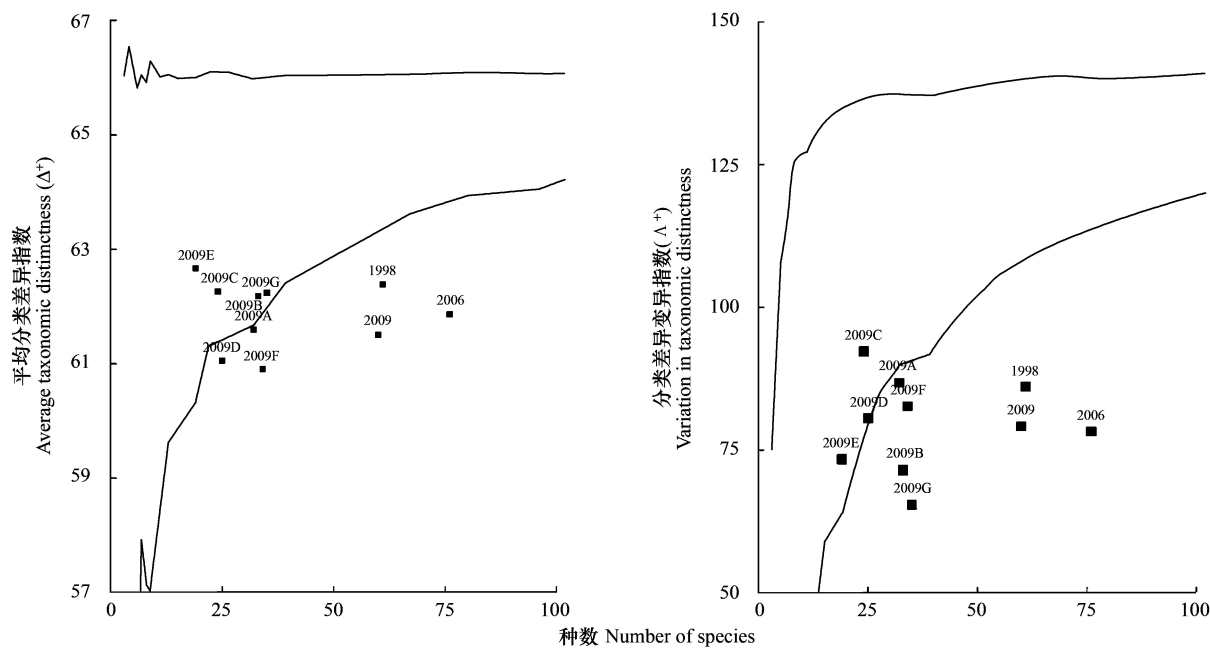


图 3 平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 Λ^+ 漏斗图

Fig.3 95% probability funnels of average taxonomic distinctness and variation in taxonomic distinctness of fishes in coastal waters off Shandong

表 4 1998—2009 年历次调查鱼类群落分类学多样性

Table 4 Taxonomic diversity of fish assemblages in the surveys between 1998 and 2009

调查区域 Survey area	种数 Numbers of species	平均分类差异指数(Δ^+) Average taxonomic distinctness index	分类差异变异指数(Λ^+) Variation in taxonomic distinctness index
1998	61	62.4	86.1
2006	76	61.9	78.3
2009Total	60	61.5	79.2
2009A	32	61.6	86.8
2009B	33	62.2	71.5
2009C	24	62.3	92.3
2009D	25	61.1	80.6
2009E	19	62.7	73.4
2009F	34	60.9	82.7
2009G	35	62.2	65.4

* 代码同表 1

3 讨论

关于黄渤海鱼类种数,不同的研究报道的数目不同。张春霖等^[30]认为黄渤海鱼类有 201 种,丁耕芜等^[31]在此基础上补充 31 种;刘效舜^[32]认为黄渤海鱼类有 289 种;陈大刚和焦燕^[33]认为黄渤海鱼类有 326 种;徐宾铎等^[13]认为黄渤海鱼类有 379 种,刘静和宁平^[21]根据实物标本整理认为黄渤海鱼类有 321 种。分布在山东近海的鱼类有 225 种。自 20 世纪 60 年代渔业大规模开发以来,黄渤海鱼类种数持续减少,生物多样性受到了极大破坏^[6,22]。在 1998—2009 年调查中,软骨鱼类仅出现鳐目(Pristiformes)1 种,硬骨鱼类中的鲉形目、鲽形目和鲑形目的种数与黄渤海鱼类名录中的种数相比大大减少(表 5)。理论上,随着调查范围、频率以及站位的增加,鱼类种数会比目前的调查名录有所增加,但山东近海鱼类种数大幅下降已成为不争的事实。

表 5 黄、渤海及山东近海鱼类分类阶元组成特征

Table 5 Composition characteristics of fish taxa in Yellow Sea & Bohai Sea and coastal waters off Shandong

目 Order	属数 Number of genus/种数 Number of species				
	黄渤海 Yellow sea and Bohai sea	山东近海 Coastal waters off Shandong	1998	2006	2009
盲鳗目(Myxiniformes)	1/1	—	—	—	—
七鳃鳗目(Petromyzoniformes)	1/2	—	—	—	—
银鲛目(Chimaeriformes)	1/1	1/1	—	—	—
虎鲨目(Heterodontiformes)	1/1	1/1	—	—	—
须鲨目(Orectolobiformes)	1/1	1/1	—	—	—
鯖鲨目(Isuriformes)	3/3	3/3	—	—	—
真鲨目(Carcharhiniformes)	5/7	4/6	—	—	—
六鳃鲨目(Hexanchiformes)	2/2	1/1	—	—	—
角鲨目(Squaliformes)	1/1	1/1	—	—	—
扁鲨目(Squatiformes)	1/1	1/1	—	—	—
锯鲨目(Pristiophoriformes)	1/1	1/1	—	—	—
电鳐目(Torpediniformes)	1/1	1/1	—	—	—
鳐目(Pristiformes)	5/7	3/5	1/1	—	—
鲭目(Myliobatiformes)	4/5	3/3	—	—	—
鲟形目(Acipenseriformes)	2/2	—	—	—	—
海鲢目(Elopiformes)	1/1	—	—	—	—
鳗鲡目(Anguilliformes)	4/6	3/3	2/2	2/2	1/1
鲱形目(Clupeiformes)	11/16	9/12	7/10	9/10	5/6
鼠鲭目(Gonorhynchiformes)	1/1	1/1	—	—	—
鲑形目(Salmoniformes)	10/15	5/8	3/3	3/3	1/1
月鱼目(Lampridiformes)	1/1	—	—	—	—
鳉形目(Gadiformes)	6/6	1/1	—	1/1	—
鲷鱼目(Scorpaeniformes)	1/1	1/1	—	—	—
鮫鱈目(Lophiiformes)	2/2	2/2	1/1	1/1	1/1
鲻形目(Mugiliformes)	2/3	2/2	—	2/2	—
银汉鱼目(Atheriniformes)	2/2	2/2	—	1/1	—
颌针鱼目(Beloniformes)	3/5	3/4	1/1	1/1	—
金眼鲷目(Beryciformes)	1/1	1/1	—	—	—
刺鱼目(Gasterosteiformes)	3/6	3/4	1/1	1/1	2/2
鲈形目(Scorpaeniformes)	28/46	17/25	7/7	6/7	7/9
鲈形目(Perciformes)	86/118	77/92	29/29	36/37	28/29
鲽形目(Pleuronectiformes)	18/28	13/20	4/5	6/6	8/10
鲑形目(Tetraodontiformes)	11/27	8/21	2/2	2/6	2/3

一般而言,从热带到两极物种种数不断减少,即在印度-西太平洋海域,离开菲律宾-马来半岛-新几内亚这

一种类最丰富的三角地区愈远种的数目愈少的规律^[34]。将本研究结果同国内其他海域研究结果对比,分类阶元包含指数渤海<黄海<东海<南海,呈现随着纬度的降低分类阶元包含指数呈依次升高的趋势(表6),与物种数随纬度变化趋势一致。

表6 不同海域鱼类各阶元种的分类阶元包含指数

Table 6 The inclusion index at taxonomic level in different areas

区域 Area	S	S/G	S/F	S/O	G/F	G/O	F/O	文献 Reference
东沙群岛 Dongsha Islands	514	2.41	7.45	24.48	3.09	10.14	3.29	[17]
大亚湾 Daya Bay	320	1.55	3.40	14.55	2.19	9.36	4.27	[20]
东海陆架 East China Sea continental shelf	350	1.48	2.92	12.07	1.97	8.16	4.13	[15]
黄渤海 Bohai Sea and Yellow Sea	321	1.45	2.84	9.73	1.96	6.70	3.42	[13]
山东近海 Coastal waters off Shandong	79	1.13	2.03	6.08	1.79	5.38	3.00	本文
渤海 Bohai Sea	119	1.37	2.38	8.50	1.74	6.21	3.57	[35]
莱州湾 Laizhou Bay	37	1.03	1.42	3.70	1.38	3.60	2.60	[22]
渤海近岸 Coastal waters of Bohai Sea	66	1.22	1.89	5.50	1.54	4.50	2.92	[35]
山东近海 1998 Coastal waters off Shandong in 1998	62	1.07	1.51	5.64	1.41	5.27	3.73	本文
山东近海 2006 Coastal waters off Shandong in 2006	78	1.10	1.90	6.00	1.73	5.46	3.15	本文
山东近海 2009 Coastal waters off Shandong in 2009	62	1.11	1.94	6.89	1.72	6.11	3.56	本文

S: 种 Species; G: 属 Genus; F: 科 Family; O: 目 Order

表7列出了我国各海域鱼类 Δ^+ 值。史赞荣等^[18]的研究总结了我国各海域鱼类 Δ^+ 的空间变化趋势:在大尺度上,从北到南随着纬度变化,海洋鱼类 Δ^+ 基本呈现梯度分布,纬度低的海域 Δ^+ 一般较小。长江口鱼类 Δ^+ 高于黄、渤海,而黄、渤海则高于东海陆架,东海陆架高于热带珊瑚礁海域。本文使用与史赞荣等^[18]相同的权重值重新计算得到黄渤海鱼类 Δ^+ 为66.4(徐宾铎等^[13]使用不同的权重值计算 Δ^+ 为77.7),和史赞荣等^[18]对我国各海域鱼类 Δ^+ 的空间变化趋势的结论一致。

表7 不同区域鱼类分类学多样性指数

Table 7 Taxonomic diversity of fish community in different surveys

研究区域 Study area	Δ^+	Λ^+	参考文献 Reference	备注 Note
东沙群岛 Dongsha Islands	55.2	110	[17]	名录
西沙群岛 Xisha Islands	60.2	—	[18]	名录
北部湾 Beibu Gulf	63.5	110	[19]	名录
东海 East China Sea	65.7	—	[15]	名录
山东近海 Coastal waters off Shandong	66.1	142	本文	名录
黄、渤海 Yellow Sea and Bohai Sea	66.4	129	本文	名录
黄、渤海 Yellow Sea and Bohai Sea	77.7	—	[13]	名录,不同计算权重
长江口 Changjiang estuary	79.9	—	[3]	名录,不同计算权重
青岛近岸春季 Coastal Waters of Qingdao	58.6	73	[14]	2004年,不同计算权重
青岛近岸秋季 Coastal Waters of Qingdao	56.0	74	[14]	2004年,不同计算权重
莱州湾 Laizhou Bay	60.9	100	待发表	2010—2011年
山东近海 Coastal waters off Shandong	62.4	86	本文	1998年
山东近海 Coastal waters off Shandong	61.9	78	本文	2006年
山东近海 Coastal waters off Shandong	61.5	79	本文	2009年

Δ^+ : 平均分类差异指数; Λ^+ : 分类差异变异指数; —: 文献未列出参考值

经典理论认为,在一个未受扰动的群落中,往往包括形态差异显著、属于不同门类的种类;而在受到严重扰动的生境中,群落往往仅由一些密切关联的种组成^[27]。山东近海由于河口、港湾众多,生境多样(包括河口、岩礁、泥滩、海草场等)^[6,22],对鱼类多样性的维持具有重要作用。随着人类活动的扰动(过度捕捞、环境

污染、生境丧失等)的不断加剧,从建国开始到 21 世纪初期的短短的几十年内,黄渤海和山东近海鱼类种类和数量组成发生了剧烈的波动^[36-37],部分种类丧失,鱼类分类学范围变小,从而使 Δ^+ 值变小。将 2006—2009 年调查名录计算的鱼类 Δ^+ 值与山东近海鱼类名录计算的鱼类 Δ^+ 值相比明显变小,大部分调查值处于 95% 置信曲线之外,均表明目前山东近海鱼类多样性已大幅下降(图 5)。

致谢:本文在种类名录整理中得到了中国科学院海洋研究所刘静研究员的指导,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] 沈国英, 黄凌风, 郭丰, 施并章. 海洋生态学 (第三版). 北京: 科学出版社, 2010.
- [2] West N E. Biodiversity of rangelands. *Journal of Range Management*, 1993, 46(1): 2-13.
- [3] 张衡, 陆健健. 鱼类分类多样性估算方法在长江河口区的应用. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2007, (2): 11-22.
- [4] Warwick R M, Clarke K R. New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, 1995, 129: 301-305.
- [5] Clarke K R, Warwick R M. *Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E, 2001.
- [6] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 黄海鱼类群落分类学多样性的研究. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2005, 35(4): 629-634.
- [7] Rogers S I, Clarke K R, Reynolds J D. The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the North-east Atlantic. *Journal of Animal Ecology*, 1999, 68(4): 769-782.
- [8] Miranda J R, Mouillot D, Hernandez D F, Lopez A S, Chi T D, Perez L A. Changes in four complementary facets of fish diversity in a tropical coastal lagoon after 18 years: a functional interpretation. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, 304: 1-13.
- [9] Tan X L, Shi X L, Liu G J, Xu H L, Nie P. An approach to analyzing taxonomic patterns of protozoan communities for monitoring water quality in Songhua River, northeast China. *Hydrobiologia*, 2010, 638(1): 193-201.
- [10] Zhou H, Hua E, Zhang Z N. Taxonomic distinctness of macrofauna as an ecological indicator in Laizhou Bay and adjacent waters. *Journal of Ocean University of China*, 2010, 9(4): 350-358.
- [11] Zhou H, Zhang Z N, Liu X S, Hua E. Decadal change in sublittoral macrofaunal biodiversity in the Bohai Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(11): 2364-2373.
- [12] Leonard D R P, Clarke K R, Somerfield P J, Warwick R M. The application of an indicator based on taxonomic distinctness for UK marine biodiversity assessments. *Journal of Environmental Management*, 2006, 78(1): 52-62.
- [13] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 对黄、渤海鱼类等级多样性的推算. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2005, 35(1): 25-28.
- [14] 徐宾铎, 任一平, 叶振江, 曾晓起. 青岛近岸水域鱼类群落分类学多样性的研究. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2007, 37(6): 907-910, 878-878.
- [15] 李圣法. 东海大陆架鱼类群落生态学研究-空间格局及其多样性 [D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [16] Shan X J, Jin X S, Yuan W. Taxonomic diversity of fish assemblages in the Changjiang Estuary and its adjacent waters. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 29(2): 70-80.
- [17] 史赞荣, 李永振, 卢伟华, 孙冬芳. 东沙群岛珊瑚礁海域鱼类物种分类多样性研究. *南方水产*, 2009, 5(2): 10-16.
- [18] 史赞荣, 李永振, 艾红, 陈国宝, 卢伟华, 李希国, 李娜娜, 于杰, 董丽娜, 崔科, 孙冬芳. 西沙群岛珊瑚礁海域鱼类分类学多样性. *水产学报*, 2010, 34(11): 1753-1761.
- [19] 孙冬芳, 朱文聪, 艾红, 李娜娜, 董丽娜, 史赞荣, 卢伟华, 李希国, 李永振. 北部湾海域鱼类物种分类多样性研究. *广东农业科学*, 2010, 37(6): 4-7.
- [20] 李娜娜, 董丽娜, 李永振, 艾红, 李夏, 陈国宝, 史赞荣. 大亚湾海域鱼类分类多样性研究. *水产学报*, 2011, 35(6): 863-870.
- [21] 刘静, 宁平. 黄海鱼类组成、区系特征及历史变迁. *生物多样性*, 2011, 19(6): 764-769.
- [22] 侯英民. 山东海情. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [23] Nelson J S. *Fishes of the World*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 2006.
- [24] 成庆泰, 周才武. 山东鱼类志. 济南: 山东科学技术出版社, 1997.
- [25] 倪勇, 武汉霖. 江苏鱼类志. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [26] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录. 北京: 科学出版社, 2008.
- [27] 伍汉霖, 钟俊生. 中国动物志 硬骨鱼纲 鲈形目 (五) 虾虎鱼亚目. 北京: 科学出版社, 2008.

- [28] Clarke K R, Warwick R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 1998, 35(4): 523-531.
- [29] Clarke K R, Warwick R M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 216: 265-278.
- [30] 张春霖, 成庆泰, 郑葆珊, 李思忠, 郑文莲, 王文滨. 黄渤海鱼类调查报告. 北京: 科学出版社, 1955.
- [31] 丁耕芜, 陈介康, 施友仁, 王辉. 黄渤海鱼类补充名录. *动物学杂志*, 1980, (3): 36-39.
- [32] 刘效舜. 中国海洋渔业区划. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.
- [33] 陈大刚, 焦燕. 中日海洋鱼类与分布的比较研究. *青岛海洋大学学报*, 1997, 27(3): 305-312.
- [34] Ekman S. *Zoogeography of the Sea*. London: Sidgwick and Jackson, 1953.
- [35] 程济生. 黄、渤海近岸水域生态环境与生物群落. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2004.
- [36] Jin X S, Tang Q S. Changes in fish species diversity and dominant species composition in the Yellow Sea. *Fisheries Research*, 1996, 26(3/4): 337-352.
- [37] 吕振波, 李凡, 王波, 徐炳庆, 魏振华, 张焕君, 张培超. 黄海山东海域春、秋季鱼类群落结构. *水产学报*, 2011, 35(5): 692-699.