

辽东湾北部海域鱼类群落结构及多样性

刘修泽, 李玉龙, 王文波, 段 妍, 柴 雨, 王小林, 董 婧*

(辽宁省海洋水产科学研究院辽宁省海洋生物资源与生态学重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要: 根据 2006 年夏季(8 月)、冬季(11 月)和 2007 年春季(4 月)、秋季(10 月)在辽东湾北部海域进行的底拖网调查数据,应用相对重要性指数(*IRI*)、生物多样性指数和多元分析方法等研究了辽东湾北部海域鱼类群落结构特征及季节变化。结果表明:本次调查共出现鱼类 39 种,隶属于 8 目 23 科 35 属,种类组成以暖温性和暖水性鱼类为主。优势种有较明显的季节更替,季节性优势种包括矛尾虾虎鱼、斑尾复虾虎鱼、小黄鱼、梭鱼、印度鲷、大银鱼和黄鲛鲷,无四季共有优势种,季节性优势种组成较 1998 年发生较大变化。鱼类群落多样性指数季节变化范围分别为 Margalef 物种丰富度指数 $D(0.40 \sim 1.69)$ 、Shannon-Wiener 多样性指数 $H'(0.39 \sim 1.45)$ 、Pielou 物种均匀度指数 $J'(0.43 \sim 0.75)$,方差分析表明,3 种多样性指数的季节变化差异显著。单因子相似性分析(AONSIM)表明鱼类群落结构存在明显的季节更替现象。相似性百分比分析(SIMPER)表明,小黄鱼、矛尾虾虎鱼、斑尾复虾虎鱼、斑鲷、黄鲛鲷、梭鱼、印度鲷、蓝点马鲛、横带高鳍虾虎鱼、焦氏舌鲷是造成鱼类群落结构季节变化的主要分歧种。鱼类群落结构与环境因子的相关分析和 BVSTEP 分析表明,水温是影响辽东湾北部海域鱼类群落结构季节变化的主要环境因素。本研究可为渔业生物多样性保护和渔业资源可持续利用提供科学依据。

关键词: 鱼类群落结构; 季节变化; 物种多样性; 辽东湾北部

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

辽东湾位于渤海北部,是我国纬度最高的海域,多种渔业生物在此繁衍生息,曾孕育著名的“辽东湾渔场”,以出产小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)、中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)和海蜇(*Rhopilema esculentum*)等著称^[1-3]。辽东湾北部有辽河、双台子河、大凌河和小凌河等河流入海,基础饵料丰富,孕育了广阔的河口三角洲湿地,在我国具有重要的生态地位^[4]。有研究表明,河口、近岸水域既是鱼类产卵场,也是仔、稚鱼和幼鱼的重要栖息地^[5-7],利用河口及邻近水域作为保育场是许多鱼类生活史的重要阶段^[8-9],对渔业资源的补充具有重要意义^[5,10]。因此开展辽东湾北部河口及邻近水域鱼类群落结构的研究具有重要的生态意义。关于辽东湾北部河口及邻近水域鱼类群落结

构的研究主要集中在 20 世纪 80 年代^[11-12]和 90 年代^[5]。近年少有相关报道,仅少量研究有所提及^[3,13]。本研究根据 2006 年至 2007 年 4 个季度的底拖网调查数据,对该海域鱼类群落结构、多样性特征及季节变化进行了研究,以期为辽东湾渔业资源的保护和可持续利用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

数据取自 2006 年 8 月至 2007 年 10 月共 4 个航次的渔业资源底拖网调查,其中 2006 年 8 月为夏季,2006 年 11 月为冬季,2007 年 4 月为春季,2007 年 10 月为秋季,共设置 12 个调查站位(图 1)。调查船为辽庄渔 25011,平均拖速 2.5 kn,每站拖网 1 h。调查网具有有翼单囊底拖网,

收稿日期:2015-03-16 修回日期:2015-05-05

资助项目:国家海洋公益性行业科研专项(20140505010);辽宁省海洋与渔业科研项目(201401)

通信作者:董 婧,E-mail:dj660228@tom.com

网口周长为 21 m,网衣长度 16 m,网囊网目 20 mm,扫海宽度约 10 m。采样及样品分析均按照《海洋调查规范》^[14]进行,同时现场采用 YSI6600 (YSI,美国)测定水深、底层盐度和底层温度等环

境因子数据。鱼类鉴定及分类地位参照《辽宁省动物志·鱼类》^[1]和《海洋生物名录》^[15],参照相关文献将鱼类划分为暖水种(WW)、暖温种(WT)和冷温种(CT)^[16]。

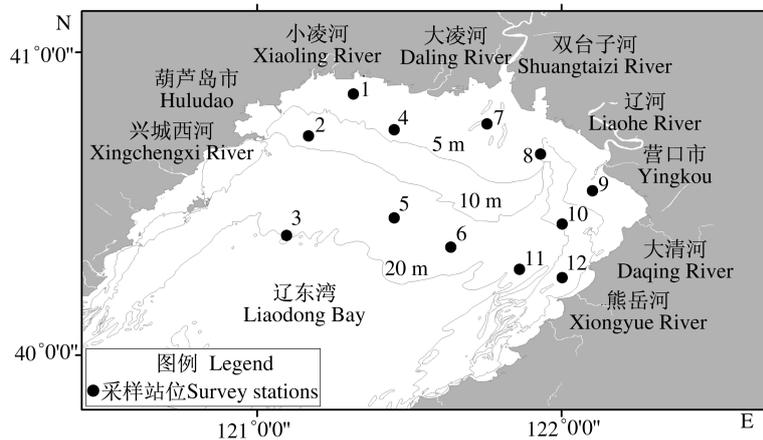


图 1 辽东湾北部海域调查站位

Fig. 1 Survey stations in the north of Liaodong Bay

1.2 优势种和多样性分析

采用 Pinkas 等^[17]提出的相对重要性指数 (IRI) 确定鱼类优势种, $IRI = (N + W) \times F$ 。式中, $N(\%)$ 为某一种类的个数占总个数的百分比; $W(\%)$ 为某一种类的重量占总重量的百分比; $F(\%)$ 为某一种类在拖网站位中的出现频率。定义 $IRI \geq 1000$ 的物种为优势种^[5,18]。

采用 Primer5.0 拟合鱼类生物量和尾数优势度曲线,用于分析各季节鱼类群落优势种的优势度变化。

采用 Margalef 物种丰富度指数 $D^{[19]}$, Shannon-Wiener 多样性指数 $H'^{[20]}$, Pielou 物种均匀度指数 $J'^{[21]}$ 分析鱼类群落多样性。

$D = (S - 1) / \ln N$; $H' = - \sum P_i \ln P_i$; $J' = H' / \ln S$; 式中, N 为渔获总尾数; S 为种类数; P_i 为第 i 种鱼类生物量占总渔获生物量的比值。

1.3 统计分析

采用 SPSS 17.0 进行单因子方差分析 (One-Way ANOVA) 以检验季节对渔获生物量、多样性指数的影响,显著性水平设为 0.05,后续比较采用 Tukey HSD 检验,以检验鱼类群落各季节间的差异。采用 person 相关系数分析鱼类群落结构与环境因子的相关性。

根据渔获生物量 (kg/h) 数据经过平方根转

换计算得到 Bray-Curtis 相似性矩阵,采用单因子相似性 (AONSIM) 分析进行鱼类群落结构季节间差异显著性检验。相似性百分比 (SIMPER) 分析造成季节间群落结构差异的分歧种。利用生物-环境参数的联合 (BVSTEP) 分析影响鱼类群落结构的环境因子及其组合^[22-23]。以上数据统计分析均由 PRIMER 5.0 完成。

图件绘制采用 Arcgis 9.3 和 Excel 2003 完成。

2 结果与分析

2.1 种类组成

4 次调查共捕获鱼类 39 种,隶属于 8 目 23 科 35 属,均属于硬骨鱼类。其中,鲈形目 (Perciformes) 种类最多,29 种;其次为鲉形目 (Scorpaeniformes), 5 种;最少为鲑形目 (Salmoniformes)、刺鱼目 (Gasterosteiformes) 和 鲷形目 (Lophiiformes), 均各为 1 种。39 种鱼类,以适温性划分,暖温种 (WT) 最多,为 25 种,占种类数的 64.10%;暖水种次之,8 种,占 20.51%;冷温种最少,仅 6 种,占 15.38%。鱼类种类数的四季变化中,以夏季最多,24 种;其次为秋季,21 种;冬季再次之,19 种;春季最少,仅 10 种 (表 1)。

表 1 辽东湾北部海域鱼类名录
Tab. 1 List of fish species in the north of Liaodong Bay

种名 species	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	适温性 temperature adaptive type
鲱形目 Clupeiformes					
斑鲚 <i>Konosirus punctatus</i>		+	+		WT
寿南小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>		+			WT
赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>		+			WW
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>		+	+		WW
鲑形目 Salmoniformes					
大银鱼 <i>Protosalanax chinensis</i>		+			WT
鲛鳀目 Lophiiformes					
黄魮鳀 <i>Lophius litulon</i>			+	+	WT
鲱形目 Mugiliformes					
梭鱼 <i>Liza haematocheila</i>				+	WT
刺鱼目 Gasterosteiformes					
尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>				+	WT
鲉形目 Scorpaeniformes					
许氏平鲉 <i>Sebastes schlegeli</i>	+	+	+	+	CT
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>			+		WW
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>		+			CT
印度鲷 <i>Platycephalus indicus</i>		+	+		WW
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>				+	CT
鲈形目 Perciformes					
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>		+	+		WW
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>		+			WT
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>			+		WW
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>		+	+		WT
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	+	+			WT
黑鳃梅童鱼 <i>C. niveatus</i>		+	+		WT
真鲷 <i>Pagrosomus major</i>			+		WT
云鲷 <i>Enedrias nebulosus</i>				+	CT
方氏云鲷 <i>E. fangi</i>		+		+	CT
长绵鲷 <i>Zoarces elongatus</i>	+		+	+	CT
李氏鲷 <i>Callionymus richardsoni</i>	+	+			WT
暗缟虾虎鱼 <i>Tridentiger obscurus</i>				+	WT
裸项栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius gymnauchen</i>				+	WT
乳色阿匍虾虎鱼 <i>Aboma lactipes</i>				+	WT
斑尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius ommaturus</i>	+	+	+	+	WT
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	+	+	+	+	WT
横带高鳍虾虎鱼 <i>Pterogobius zaccalles</i>	+		+	+	WT
红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	+	+		+	WT
中华栉孔虾虎鱼 <i>Ctenotrypauchen chinensis</i>		+	+	+	WT
小头栉孔虾虎鱼 <i>C. microcephalus</i>				+	WT
小带鱼 <i>Eupleuroprammus muticus</i>		+	+		WW
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>		+			WT
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>		+	+		WW
鲽形目 Pleuronectiformes					
牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>			+		WT
半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>	+	+	+	+	WT
焦氏舌鲷 <i>C. joyneri</i>	+	+	+	+	WT

注: WW, 暖水种; WT, 暖温带种; CT, 冷温带种.

Notes: WW, warm-water species; WT, warm-temperate species; CT, cold-temperate species.

2.2 优势种

从季节变化方面分析, 春季优势种为 2 种, 分

别为矛尾虾虎鱼 (*Chaeturichthys stigmatias*) 和斑尾复虾虎鱼 (*Synechogobius ommaturus*); 夏季优

势种 2 种,分别为小黄鱼和大银鱼 (*Protosalanx chinensis*);秋季优势种 4 种,分别为矛尾虾虎鱼、黄鲛鳊 (*Lophius litulon*)、小黄鱼和印度鲷 (*Platycephalus indicus*);冬季优势种 3 种,分别为梭鱼 (*Liza haematocheila*)、矛尾虾虎鱼和斑尾复虾虎鱼(表 2)。四季无共有优势种;除夏季外,矛尾虾虎鱼在其他 3 个季节均作为优势种出现,且

在春季鱼类群落中占据绝对优势地位 ($IRI = 15\ 924$),远远高于第二优势种 ($IRI = 1\ 240$),占渔获生物量和渔获尾数的比例均超过 80%。优势种渔获量分别占春、夏、秋、冬四季总渔获生物量的 95.8%、61.6%、76.7% 和 91.7%,分别占总渔获数量的 96.5%、81.6%、80.6% 和 84.8%。

表 2 辽东湾北部海域鱼类优势种组成的季节变化
Tab.2 Seasonal variation of dominant fish species
in the north of Liaodong Bay

季节 season	优势种 dominant Species	W/%	N/%	F/%	IRI
春季 spring	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	82.0	91.7	91.7	15 924
	斑尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius ommaturus</i>	13.8	4.8	66.7	1 240
夏季 summer	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	54.8	39.4	73.3	6 910
	大银鱼 <i>Protosalanx chinensis</i>	6.8	42.2	26.7	1 306
秋季 autumn	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	15.3	43.1	91.7	5 354
	黄鲛鳊 <i>Lophius litulon</i>	32.9	9.4	100.0	4 230
	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	7.7	23.4	75.0	2 336
	印度鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	20.8	4.7	91.7	2 334
冬季 winter	梭鱼 <i>Liza haematocheila</i>	49.6	52.8	50.0	5 117
	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	22.1	23.9	66.7	3 065
	斑尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius ommaturus</i>	20.0	8.1	100.0	2 810

生物量优势度曲线表明,春季优势种突出,优势度曲线远远高于其他 3 季,而各季节第一优势种的比例也均超过 30%;尾数优势度曲线表明,

各季均有显著突出的优势种,春季第一优势种的比例达到 90% 以上,其他 3 季第一优势种的比例也在 40% 以上(图 2)。

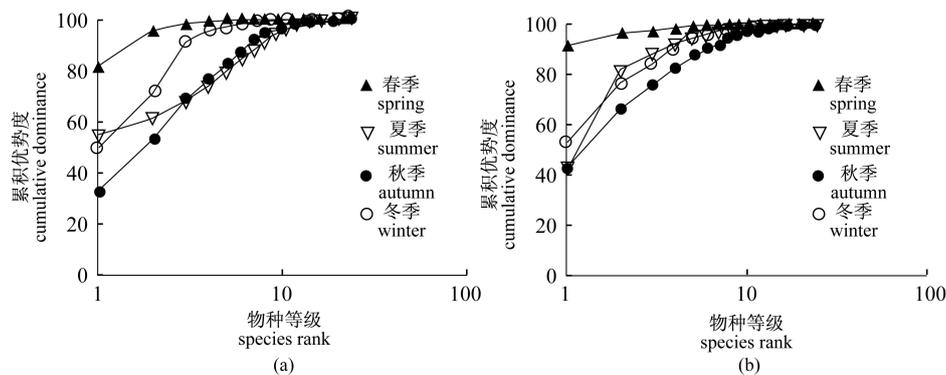


图 2 辽东湾北部海域鱼类优势度曲线

(a) 生物量;(b) 丰度

Fig.2 Dominance curves of fish species in the north of Liaodong Bay

(a) Biomass; (b) Abundance

2.3 渔获量空间分布及季节变化

鱼类渔获量表现出明显的季节变化,平均渔获生物量夏季最高,秋季最低,由夏季的 (18.43 ± 4.98) kg/h,下降至秋季的 (2.19 ± 0.29) kg/h(图

3-a)。渔获量组成中,四季均以暖温种占绝对优势;暖水种渔获在夏、秋季占据一定比例,春、冬季均无暖水种出现;冷温种四季均有出现,但渔获量在四季均占据极低的比例(图 3-b)。方差分析表

明,各站位渔获量季节差异极显著($P < 0.01$),LSD 检验表明,季节差异表现在夏季与其他 3 季之间。以适温性划分,暖温种和暖水种渔获量均存在显著

的季节差异($P < 0.01$),LSD 检验同样表明,季节差异表现在夏季与其他 3 个季度之间,而冷温种渔获量季节差异不显著($P > 0.05$)。

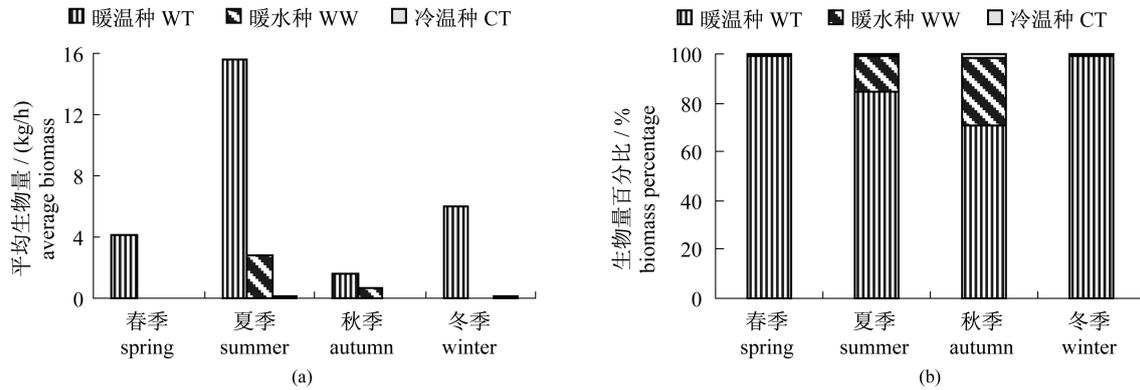


图 3 辽东湾北部海域鱼类平均渔获生物量的季节变化

(a) 平均生物量; (b) 生物量百分比

Fig. 3 Seasonal changes of average fish biomass in the north of Liaodong Bay

(a) Average biomass; (b) Abundance percentage

由渔获生物量空间分布可见,春季生物量高值站位出现在辽东湾东北部河口附近,主要为暖温性的本地种,如矛尾虾虎鱼和班尾复虾虎鱼在该水域大量分布(图 4)。夏季鱼类生物量主要分布在 10 - 20 等深线以内,小黄鱼是其主要贡献者;另外双台子河口附近的 7 号站也为高值站位,渔获主要为大银鱼。秋季高值站位较为均匀,小

黄鱼、印度鲷、焦氏舌鳎 (*Cynoglossus joyneri*) 和黄鲛鳔等是高值站位的主要贡献者;冬季高值站位较少,仅出现在双台子河口附近,梭鱼是该站位渔获量的主要贡献者。综合分析可知,夏、秋季渔获主要分布在深水区,夏季鱼类的聚集强度高于秋季;冬、春季主要分布在浅水区,冬季鱼类的聚集强度高于春季。

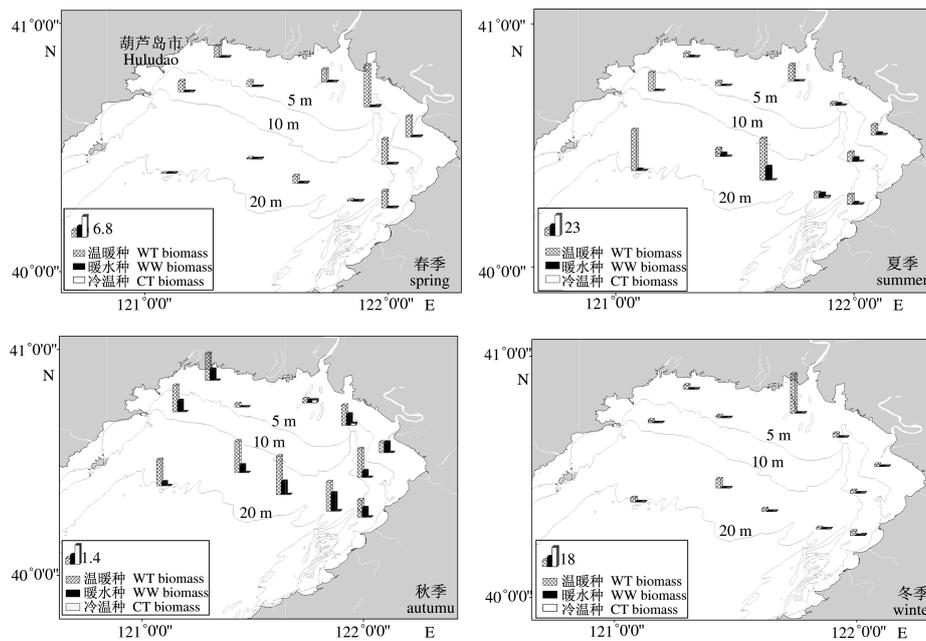


图 4 辽东湾北部海域鱼类生物量空间分布 (kg/h)

Fig. 4 Spatial distribution of fish biomass in four seasons in the north of Liaodong Bay

2.4 鱼类群落结构的季节变化

单因子相似性分析 (ANOSIM) 表明, 鱼类群落结构存在极显著的季节差异 ($R = 0.543$, $P < 0.01$), 季节间两两比较也差异显著 ($P < 0.01$)。

相似性百分比分析 (SIMPER) 显示, 春、夏、秋、冬四季相邻季节的平均相异性分别为 86.21%、78.73%、78.96% 和 63.18%。春季与夏季鱼类群落的主要分歧种是小黄鱼、矛尾虾虎鱼、焦氏舌鳎、印度鲷、斑尾复虾虎鱼、蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*) 和斑鲹 (*Konosirus punctatus*), 7 种鱼类对季节间平均相异性贡献率

为 72.89%; 夏季与秋季的主要分歧种是小黄鱼、焦氏舌鳎、黄鲛鳎、印度鲷、蓝点马鲛、矛尾虾虎鱼、斑鲹和斑尾复虾虎鱼, 8 种鱼类对季节间平均相异性贡献率为 69.02%; 秋季与冬季的主要分歧种是斑尾复虾虎鱼、矛尾虾虎鱼、黄鲛鳎、印度鲷、梭鱼和横带高鳍虾虎鱼 (*Pterogobius zacalles*), 6 种鱼类对季节间平均相异性贡献率为 71.66%; 冬季与春季的主要分歧种是矛尾虾虎鱼、斑尾复虾虎鱼、梭鱼、横带高鳍虾虎鱼和焦氏舌鳎, 5 种鱼类对季节间平均相异性贡献率为 83.54% (表 3)。

表 3 辽东湾北部海域相邻季节间鱼类群落结构差异分歧种及贡献率
Tab.3 Discriminating species of fish community between seasons and their contribution percentage in the north of Liaodong Bay

季节 season	平均相异性/% average dissimilarity	种类 species	平均生物量 (kg/h) average biomass		分歧种贡献率/% contribution percentage
			I	II	
春季(I)&夏季(II) spring & summer	86.21	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	/	10.10 ± 4.61	23.89
		矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	3.43 ± 0.95	0.55 ± 0.17	13.06
		焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	0.01 ± 0.01	1.12 ± 0.38	9.83
		印度鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	/	1.02 ± 0.41	7.8
		斑尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius ommaturus</i>	0.58 ± 0.26	0.62 ± 0.42	6.76
		蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	/	0.86 ± 0.53	6.12
		斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	/	0.63 ± 0.31	5.42
夏季I&秋季II summer & autumn	78.73	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	10.10 ± 4.61	0.17 ± 0.09	21.92
		焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	1.12 ± 0.38	0.05 ± 0.02	8.81
		黄鲛鳎 <i>Lophius litulon</i>	0.00	0.72 ± 0.19	8.6
		印度鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	1.02 ± 0.41	0.45 ± 0.09	7.59
		蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	0.86 ± 0.53	/	6.19
		矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	0.55 ± 0.17	0.33 ± 0.10	5.37
		斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	0.63 ± 0.31	0.01 ± 0.003	5.37
秋季I&冬季II autumn & winter	78.96	斑尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius ommaturus</i>	0.62 ± 0.42	0.11 ± 0.04	5.17
		斑尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius ommaturus</i>	0.11 ± 0.04	1.21 ± 0.31	15.55
		矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	0.33 ± 0.10	1.34 ± 0.46	14.68
		黄鲛鳎 <i>Lophius litulon</i>	0.72 ± 0.19	0.09 ± 0.09	14
		印度鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	0.45 ± 0.09	/	11.56
		梭鱼 <i>Liza haematocheila</i>		3.00 ± 2.91	9.51
		横带高鳍虾虎鱼 <i>Pterogobius zacalles</i>	0.002 ± 0.002	0.25 ± 0.11	6.36
冬季I&春季II winter&spring	63.18	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	1.34 ± 0.46	3.43 ± 0.95	31.24
		斑尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius ommaturus</i>	1.21 ± 0.31	0.58 ± 0.26	23.16
		梭鱼 <i>Liza haematocheila</i>	3.00 ± 2.91		13.71
		横带高鳍虾虎鱼 <i>Pterogobius zacalles</i>	0.25 ± 0.11	0.02 ± 0.01	9.64
		焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	0.07 ± 0.04	0.01 ± 0.01	5.79

注: / 表示物种未出现

Notes: / denotes the fish species was absent

2.5 多样性的季节变化

结果显示,丰富度指数 D 、多样性指 H' 和均匀度指数 J' 均以秋季最高,丰富度指数 D 和多样性指数 H' 季节变化趋势一致,均是秋季 > 夏季 > 冬季 > 春季,而均匀度指数表现为秋季 > 夏季 > 春季 > 冬季(表 4)。方差分析表明, D 、 H' 和 J' 均与季节因子存在极显著差异 ($P < 0.01$)。应用

LSD 检验表明,除夏季与冬季外,丰富度指数 D 在其他季节两两间均存在极显著差异 ($P < 0.01$);多样性指数 H' ,除夏季与秋季无显著差异 ($P > 0.05$),春季与冬季差异显著 ($P < 0.05$) 外,其他季节两两间均差异极显著 ($P < 0.01$);均匀度指数 J' 在秋季与春、秋、冬季差异极显著 ($P < 0.01$),秋季与夏季差异显著 ($P < 0.05$)。

表 4 鱼类群落多样性指数的季节变化

Tab. 4 Seasonal changes of fish community in diversity in the north of Liaodong Bay

季节 season	丰富度指数 D Margalef species richness index		多样性指数 H' Shannon - Winner diversity index		均匀度指数 J' Pielou evenness index	
	均值 average	范围 range	均值 average	范围 range	均值 average	范围 range
	春季 spring	0.40	0 ~ 0.93	0.39	0 ~ 0.82	0.47
夏季 summer	1.17	0.41 ~ 1.64	1.20	0.51 ~ 1.90	0.54	0.22 ~ 0.83
秋季 autumn	1.69	1.12 ~ 2.41	1.45	0.87 ~ 1.78	0.75	0.65 ~ 0.89
冬季 winter	0.98	0.27 ~ 0.99	0.75	0.11 ~ 1.34	0.43	0.10 ~ 0.76

2.6 鱼类群落结构与环境因子的相关性

辽东湾北部海域的环境因子中,水深、底层盐度的变化范围不大,而底层水温在 4 个季节中变化较为明显,夏季、秋季水温较高,春季、冬季水温较低(表 5)。鱼类群落结构与环境因子的相关分

析显示,除冷温种鱼类生物量外,其他生物参数如种类数、暖温种鱼类生物量、暖水种鱼类生物量、 D 、 H' 、 J' 均与底层水温显著正相关 ($P < 0.01$),而与其他环境因子如底层盐度 ($P > 0.05$) 和水深 ($P > 0.05$) 未构成显著相关(表 6)。

表 5 辽东湾北部海域的环境因子

Tab. 5 Environmental factors in the north of Liaodong Bay

季节 season	底层水温/°C bottom temperature		底层盐度/‰ bottom salinity		水深/m depth	
	范围 range	均值 average	范围 range	均值 average	范围 range	均值 average
	春季 spring	5.93 ~ 10.87	8.32	27.42 ~ 32.09	30.41	3.8 ~ 21.0
夏季 summer	24.46 ~ 28.19	26.03	16.21 ~ 32.48	28.47	4.2 ~ 21.0	10.85
秋季 autumn	14.47 ~ 19.94	17.28	26.25 ~ 31.87	30.35	5.2 ~ 20.50	11.45
冬季 winter	5.43 ~ 9.82	6.80	26.96 ~ 32.10	30.19	4.0 ~ 21.0	10.22

表 6 鱼类群落结构与环境因子的相关系数

Tab. 6 Correlation coefficient between fish community and environmental factors

相关系数 correlation coefficient	底层温度 bottom temperature	底层盐度 bottom salinity	水深 depth
种类数 fish species number	0.661**	-0.264	-0.056
暖温种生物量 biomass of WT	0.323*	-0.111	0.097
暖水种生物量 biomass of WW	0.456**	0.170	0.221
冷温种生物量 biomass of CT	0.120	0.100	0.068
丰富度指数 D Margalef species richness index	0.591**	-0.215	-0.075
多样性指数 H' Shannon-Wiener diversity index	0.558**	0.009	-0.002
均匀度指数 J' Pielou evenness index	0.316*	0.067	-0.065

注:**表示 $P < 0.01$; *表示 $P < 0.05$

Notes: ** denotes $P < 0.01$; * denotes $P < 0.05$

BVSTEP 分析表明,鱼类群落结构的季节变化与底层水温和盐度的综合因子的相关性最好 ($r=0.433$),与底层水温的相关性次之 ($r=0.387$)。因此,底层水温与鱼类群落结构季节变化的相互关系最为密切。

3 讨论

本次调查共捕获鱼类 39 种,以暖温种和暖水种居多,冷温种最少,未发现冷水种,反映了该水域鱼类区系具有的温带海区的特点^[14]。鱼类种类数的四季变化明显,与水温有着极显著的正相关性,这一点亦与鱼类不同适温属性的季节变化相符。夏、秋季水温高,鱼类种类数多,暖温性和暖水性的洄游种类如小黄鱼、蓝点马鲛、赤鼻棱鲷 (*Thrissa kammalensis*)、银鲳 (*Pampus argenteus*) 等陆续进入该海域;冬、春季水温降低,冷温种增加,而暖温性和暖水性种已洄游至深水区越冬或未到达该海域,鱼类种类数较少,本次调查冬、春季未发现暖水种。1998 年的双拖网调查,辽东湾北部近岸水域春、夏、秋三季共捕获鱼类 35 种^[5]。与 1998 年数据相比,2 次调查鱼类种类组成略有差异,但优势种发生了较大变化。1998 年调查,春、夏、秋三季的优势种 ($IRI \geq 1000$) 为小带鱼 (*Eupleuroprammus muticus*)、黄鲫 (*Setipinna taty*)、小黄鱼、银鲳、蓝点马鲛和斑鲈^[5],而本次调查仅小黄鱼在夏季作为优势种出现,其他种类在渔获中所占比例较小,除小带鱼在夏季其生物量和尾数占渔获百分比均达到 6%,其余种类均未超过 5%。导致这种变化的原因是多方面的,近年来,随着捕捞对象已向次级经济鱼类的转移,许多低值经济鱼类如玉筋鱼 (*Ammodytes personatus*)、黄鲫等产量亦大幅度下降^[24];同时,除小带鱼,1998 年的优势种均为洄游性鱼类,在渤海海峡等鱼类洄游路径上的捕捞活动也导致鱼类无法进入渤海乃至辽东湾产卵和繁殖^[25],这在一定程度上导致了辽东湾北部水域鱼类种类组成和数量的变化。此外,调查网具、调查时间和调查范围的差异也可能对研究结果产生一定的影响。

单因子相似性 (ANOSIM) 分析表明鱼类群落结构的季节差异显著,其差异主要由斑鲈、黄鲛、梭鱼、印度鲷、蓝点马鲛、小黄鱼、横带高鳍虾虎鱼、矛尾虾虎鱼、斑尾复虾虎鱼、焦氏舌鳎等种类在不同季节的生物量差异造成,且造成不同季

节间差异的分歧种不尽相同。鱼类群落结构与环境因子的分析表明,水温与鱼类群落结构季节变化的关系最为密切,有研究表明,在深度梯度变化不大的温带水域的鱼类群落组成在很大程度上存在温度依赖性^[26-27],鱼类自身的繁殖生长、洄游习性等与水温密切相关,水温变化引起的地方性物种优势度的变动和洄游性鱼类季节性洄游导致鱼类聚集强度的改变可能是导致鱼类群落结构季节变化的主要因素。例如:夏季与春季、夏季与秋季之间的主要分歧种是小黄鱼,小黄鱼是暖温性洄游种,春季(4月)和秋季(10月)水温相对较低,春季小黄鱼未洄游至辽东湾北部或秋季已行越冬洄游离开近岸水域,同时加上伏季休渔的保护和秋季开捕对经济种的大量捕获,导致其资源量在 3 个季节的显著变化,从而对鱼类群落结构的季节变化产生较大影响。

鱼类群落的多样性指数季节差异较大,总体表现为秋、夏季较高,冬、春季较低。以 H' 为例,秋夏季 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 经方差分析无显著差异,而渔获生物量的秋夏季间差异显著,可见渔获生物量的高低并不是多样性指数高低的主要因素。Pielou^[28] 指出“群落中种类多样性取决于种的数量及其分布的均匀度 2 个因素”。因此, H' 在种类数一定的情况下,各种类间数量分布越均匀时,多样性越高^[29]。由优势度曲线结果显示,秋季优势度曲线平缓,无绝对优势种,生物量百分比差异较小,因此虽然渔获生物量最低,但支持了较高的多样性 H' ;而夏季虽然生物量最高,但因有绝对优势种的出现,主要种类优势度高,生物量百分比在种间分配差异较大,多样性 H' 反而低于秋季。同时,鱼类的繁殖生长和捕捞活动也会造成多样性 H' 的季节变化^[30],6-8 月的休渔,以及大部分鱼类幼鱼的生长,鱼类种类数和生物量大幅度增加,且无外界干扰,其多样性 H' 较春季有所提高,而秋季(9月)开捕后有选择性的捕捞活动,导致小黄鱼、大银鱼等经济优势种的比例下降,群落中各种类生物量百分比趋于相对均匀,多样性 H' 继续增大。随着捕捞活动的持续,对鱼类群落的干扰增强,又加剧了种类生物量百分比的差异,加上水温降低导致洄游性鱼类离开近岸水域,鱼类种类数减少,多样性 H' 出现下降趋势。相关性分析亦表明,多样性指数与水温有着显著的正相关关系。

河口及近岸水域是多种渔业生物的重要产卵场与栖息地^[5-7],春、夏季(5-6月)是鱼类的产卵盛期^[31],本次调查夏季鱼类种类数及渔获生物量明显高于其他季节,表明辽东湾北部维系着产卵场和保育场的功能,对辽东湾渔业资源的补充具有重要意义。但近岸水域也属于敏感脆弱区^[5-7],近年来入海河流拦坝建闸导致入海径流量减少^[4,32]、环境污染^[32]、海岸带开发^[33]以及过度捕捞^[32,34]等会在一定程度上影响鱼类产卵场、育肥场的功能以及定居性鱼类的栖息和生长。因此,严格执行休渔政策,合理规划海岸开发活动,加强水域生态环境的保护,对鱼类群落结构的多样性保护和渔业资源的可持续利用具有重要作用。

感谢资源室全体成员在外业调查和室内生物学测定中所付出的的艰辛工作!感谢审稿专家提出的宝贵修改意见和建议!

参考文献:

- [1] Liu C X, Qin K J, Ding G W, *et al.* Fauna in Liaoning Province (Fish) [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1987: 1 - 229. [刘麟馨,秦克静,丁耕芜,等.辽宁省动物志·鱼类.沈阳:辽宁科学技术出版社,1987:1-229.]
- [2] Liu X S, Wu J N, Han G Z, *et al.* Investigation and division of fisheries resource of Yellow and Bohai Sea [M]. Beijing: Ocean Press, 1990: 78 - 266. [刘效舜,吴敬南,韩光祖,等.黄渤海区渔业资源调查与区划.北京:海洋出版社,1990:78-266.]
- [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.大连海洋大学学报,2013,28(2):211-216.]
- [4] Zhen J P, Wang F, Hua Z L. The ecological environment problems and countermeasures in the north of Liaodong Bay estuary [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2005, 23(255): 47 - 50. [郑建平,王芳,华祖林.辽东湾北部河口区生态环境问题及对策.东北水利水电,2005,23(255):47-50.]
- [5] Chen J S, Qiu S Y, Li P J, *et al.* The ecological environment and biological community in the coastal waters of Yellow Sea and Bohai Sea [M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2004: 209 - 392. [程济生,邱盛尧,李培军,等.黄、渤海近岸水域生态环境与生物群落.青岛:中国海洋大学出版社,2004:209-392.]
- [6] Powera M, Attrill M J, Thomasc R M. Enviromental factors and interactions affecting the temporal abundance of juvenile flatfish in the Thames Estuary [J]. Journal of Sea Research, 2000, 43(2): 135 - 149.
- [7] Greenwood M F D, Hill A S. Temporal, spatial and tidal influences on benthic and demersal fish abundance in the Forth estuary [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 58(2): 211 - 225.
- [8] Beukema J J. Dynamics of juvenile shrimp *Crangon crangon* in a tidal - flat nursery of the Wadden Sea after mild and cold winters [J]. Marine Ecology Progress Series, 1992, 83: 157 - 165.
- [9] Gibson RN. The intertidal movements and distribution of young fish on a sandy beach with special reference to the plaice *Pleuronectes platessa* L [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1973, 12: 79 - 102.
- [10] Deng J Y, Jin X S. Study on fishery biodiversity and its conservation in Laizhou Bay and Yellow River estuary [J]. Zoological Research, 2000, 21(1): 76 - 82. [邓景耀,金显仕.莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性及其保护研究.动物学研究,2000,21(1):76-82.]
- [11] Zhu X H, Wu H Z, Xu F S, *et al.* The heterogeneity of spatiotemporal patterns of nekton community structure in the coastal waters of Yellow Sea and Bohai Sea [J]. Acta Zoologica Sinica, 1994, 40(3): 242 - 252. [朱鑫华,吴鹤州,徐凤山,等.黄渤海沿岸水域游泳动物群落结构时空格局异质性研究.动物学报,1994,40(3):241-252.]
- [12] Zhu X H, Wu H Z, Xu F S, *et al.* The study on biodiversity and related factors of nekton community structure in the coastal waters of Yellow Sea and Bohai Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1994, 16(3): 102 - 112. [朱鑫华,吴鹤洲,徐凤山,等.黄渤海沿岸水域游泳动物群落多样性及其相关因素的研究.海洋学报,1994,16(3):102-112.]
- [13] Liu X Z, Dong J, Yu X G, *et al.* Fishery resources structure in coastal waters of Liaoning Province [J]. Marine Fisheries, 2014, 36(4): 289 - 299. [刘修泽,董婧,于旭光,等.辽宁省近岸海域的渔业资源结构.海洋渔业,2014,36(4):289-299.]

- [14] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GBT 12763. 6 - 2007 Specifications for oceanographic survey - Part 6: Marine biological survey [S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2008, 56 - 62 [中华人民共和国国家质量监督检验检疫局. GBT 12763. 6 - 2007 海洋调查规范第 6 部分 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 2008, 56 - 62.]
- [15] Liu R Y. Checklist Of Marine Biota Of China Seas [M]. Beijing: Science Press. 2008: 887 - 1066. [刘瑞玉. 海洋生物名录. 北京: 科学出版社, 2008: 887 - 1066.]
- [16] Tian M C, Sun B L, Yang J M. Analysis of the fish fauna of the Bohai Sea [J]. *Studia Marina Sinica*, 1993, 34: 157 - 167. [田明诚, 孙宝龄, 杨纪明. 渤海鱼类区系分析. 海洋科学集刊, 1993, 34: 157 - 167.]
- [17] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. *California Department of Fish and Game: Fish Bulletin*, 1971, 152: 1 - 105.
- [18] You Z B, Li X S, Zhao X Y, *et al.* The selectivity research of big mesh gillnet for *Scomberomorus niphonius* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38 (2): 299 - 307. [尤宗博, 李显森, 赵宪勇, 等. 蓝点马鲛大网目流刺网的选择性研究. 水产学报, 2014, 38 (2): 299 - 307.]
- [19] Margalef R. Information theory in ecology [J]. *General System*, 1958, 3: 36 - 71.
- [20] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula [J]. *Ecology*, 1968, 49 (1): 153 - 156.
- [21] Pielou E C. Ecological diversity [M]. New York: Wiley, 1975.
- [22] Clarke K R, Warwick R M. Changes in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation [M]. 2nd Edition. PRIMER - E; Plymouth, 2001: 100 - 172.
- [23] Zhou H, Zhang Z N. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao; Natural Science*, 2003, 33 (1): 58 - 64. [周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2003, 33 (1): 58 - 64.]
- [24] Tang Q S, Ye M Z. The exploitation and protection of fishery resources in Shandong offshore [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1990: 1 - 214. [唐启升, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护. 北京: 中国农业出版社, 1990: 1 - 214.]
- [25] Li X S, Niu M X, Dai F Q. The characteristics of structure and distribution of spawning stock of fishery species in the Bohai Sea [J]. *Marine Fisheries Research*, 2008, 29 (4): 15 - 21. [李显森, 牛明香, 戴芳群. 渤海渔业生物生殖群体结构及其分布特征. 海洋水产研究, 2008, 29 (4): 15 - 21.]
- [26] 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. 水产学报, 2004, 28 (1): 29 - 34.]
- [27] Shan X J, Sun P F, Jin X S, *et al.* Seasonal variations of fishery resources structure in the sections of the southern Yellow Sea [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37 (3): 425 - 435. [单秀娟, 孙鹏飞, 金显仕, 等. 黄海典型断面渔业资源结构的季节变化. 水产学报, 2013, 37 (3): 425 - 435.]
- [28] Pielou E C. The measurement of diversity in different types of biological collections [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1996, 131 - 144.
- [29] Wang S B. A question on the traditional biodiversity index [J]. *Journal of Fudan University: Natural Science*, 2003, 42 (6): 867 - 868. [王寿兵. 对传统生物多样性指数的质疑. 复旦学报: 自然科学版, 2003, 42 (6): 867 - 868.]
- [30] Li S F, Chen J H, Li C S, *et al.* Seasonal changes on fish community diversity in the middle part of the East China Sea [J]. *Marine Fisheries*, 2005, 27 (2): 113 - 119. [李圣法, 程家骅, 李长松, 等. 东海中部鱼类群落多样性的季节变化. 海洋渔业, 2005, 27 (2): 113 - 119.]
- [31] Wan R J, Jiang Y W. The species and characteristics of the eggs and larvae of osteichthyes in the Bohai Sea and Yellow Sea [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2000, 9 (4): 290 - 297 [万瑞景, 姜言伟. 渤、黄海硬骨鱼类鱼卵与仔稚鱼种类组成及其生物学特征. 上海水产大学学报, 2000, 9 (4): 290 - 297.]
- [32] Xu S S. Decline mechanisms of fishery resources in the Bohai Sea under anthropogenic activities [D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, 2011. [许思思. 人为影响下渤海渔业资源的衰退机制. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2011.]
- [33] Gao W B, Liu X Z, Duan Y Y, *et al.* Impact of the

sea reclamation on fishery resources in Liaoning offshore and corresponding countermeasures [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24: 163 - 166. [高文斌, 刘修泽, 段有洋, 等. 围填海工程对辽宁省近海渔业资源的影响及对策[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24: 163 - 166.]

[34] Chen J H, Jiang Y Z. Methods for evaluating fishing effects on fish community [J]. Journal of Fishery Science of China, 2008, 15(2): 359 - 366. [程家骅, 姜亚洲. 捕捞对海洋鱼类群落影响的研究进展[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 359 - 366.]

The fish community structure and diversity in the north of Liaodong Bay

LIU Xiuze, LI Yulong, WANG Wenbo, DUAN Yan, CHAI Yu, DONG Jing

(Liaoning Ocean and Fishery Science Research Institute, Liaoning Key Laboratory of Marine Biological Resources and Ecology, Dalian 116023, China)

Abstract: Based on bottom trawl data from August 2006 to October 2007, seasonal variations in the fish community structure and diversity in the north of Liaodong Bay were analyzed using the index of relative importance (*IRI*), species diversity indices, and multivariate methods. A total of 39 species were collected, belonging to 8 orders, 23 families, and 35 genera. Most of them were warm-temperature species and warm-water species. There were obvious succession of dominant species in four seasons, the seasonal dominant species whose *IRI* value ≥ 1000 were *Chaeturichthys stigmatias*, *Synechogobius ommaturu*, *Larimichthys polyactis*, *Liza haematocheila*, *Platycephalus indicus*, *Protosalanx chinensis*, *Lophius litulon*, and without symbiotic species in four seasons. Compared with the data in 1998, the dominant species have largely changed. The Margalef species richness index (*D*) ranged from 0.40 to 1.69, the Shannon-Winner diversity index (*H'*) ranged from 0.39 to 1.45, the Pielou evenness index (*J'*) ranged from 0.43 to 0.75, and all of three diversity indexes changed significantly among seasons (ANOVA). ANOSIM analysis also indicated that fish species composition varied significantly among seasons. The SIMPER analysis revealed that *Larimichthys polyactis*, *Chaeturichthys stigmatias*, *Synechogobius ommaturus*, *Konosirus punctatus*, *Lophius litulon*, *Liza haematocheila*, *Platycephalus indicus*, *Scomberomorus niphonius*, *Pterogobius zacalles*, *Cynoglossus joyneri* were primary discriminating species in the fish community among seasons. Based on the correlation between fish community structure and environmental factors using correlation analysis and BVSTEP, it is indicated that water temperature was primary environmental factor which led to seasonal changes of fish community in the north of Liaodong Bay. The study can provide a scientific basis for protecting ecological environment, fishery resources conservation and sustainable exploitation.

Key words: fish community structure; seasonal variation; species diversity; the north of Liaodong Bay

Corresponding author: DONG Jing. E-mail: dj660228@tom.com