

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16197

温州南部沿岸海域鱼类群落特征及其与环境因子的关系

董静瑞¹, 胡成业¹, 水玉跃², 田阔¹, 杜肖³, 水柏年¹

1. 浙江海洋大学 水产学院, 浙江 舟山 316000;

2. 舟山市海洋与渔业局, 浙江 舟山 316000;

3. 淡水生态与生物技术国家重点实验室宁波实验室, 浙江 宁波 315000

摘要: 根据 2015 年春季(5 月)和秋季(9 月)温州南部沿岸海域渔业资源调查数据, 利用物种多样性指数、多元分析及其典范对应分析等方法, 对该海域鱼类种类组成、多样性和群落与环境因子间的关系进行了分析。结果表明: 温州南部沿岸海域共鉴定鱼类 47 种, 隶属于 9 目 27 科 41 属, 主要以暖水性和暖温性为主, 鲈形目(Perciformes)种类最多, 共 26 种; 其次为鲱形目(Clupeiformes), 共 6 种; 再次为鲹形目(Tetraodontiformes), 共 4 种。春季, 优势种依次为日本鳀(*Engraulis japonicus*)、镰鲷(*Pampus echinogaster*)、六丝矛尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)和棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*), 其渔获量占总渔获量的 49.3%; 秋季, 优势种为龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、棘头梅童鱼和六指马鲛(*Polynemus sextarius*), 占总渔获量的 50.8%。日本鳀、蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)、刺鲳(*Psenopsis anomala*)、龙头鱼、鳙(*Ilisha elongata*)和六指马鲛等是各季节各站位组的典型种及造成不同站位组间群落差异的主要分歧种。此外, 组内的典型种一定程度上是组间的分歧种和群落的优势种。经 Pearson 分析, Margalef 种类丰富度指数(D)和 Shannon-Wiener 多样性指数(H')与溶解氧呈极显著正相关, 而与盐度和温度均呈显著正相关。通过典范对应分析(CCA)得出, 影响鱼类群落的主要环境因子为酸碱度 pH、水深和盐度。

关键词: 鱼类; 物种多样性; 群落结构; 环境因子; 典范对应分析

中图分类号: S92

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)02-0209-11

温州南部沿岸海域位于东海中部向南部过渡地带, 是东海陆架的一个典型生态区。受高温高盐的台湾暖流和低盐的浙江沿岸流以及浙南沿岸上升流的影响, 该海域营养盐和饵料生物丰富, 鱼类种类多样性丰富, 群落结构复杂。目前, 有关温州海域鱼类群落的研究报道主要集中于瓯江口及其邻近海域, 如沈益绿等^[1]对瓯江口海域鱼类进行了初步调查, 徐兆礼^[2]对瓯江口海域鱼类多样性进行了研究, 胡成业等^[3]对瓯飞滩邻近海域鱼类群落结构及多样性进行了研究。而针对温州南部沿岸海域的研究报道不多, 仅有王陈等^[4]对苍南近海鱼类的种类组成和数量分布进行了研究, 胡成业等^[5]对苍南南部沿岸海域主要游泳动物生态位及种间联结性进行了研究, 但有关鱼类群落

特征及其与环境因子的研究尚未见报道。鱼类是海洋生态系统中的关键类群, 通常位于食物链的较高水平, 研究鱼类群落结构是引入基于生态系统海洋管理策略的前期理论准备和必需环节^[6], 并为今后开展海洋生态修复提供基础资料。本文对温州南部海域鱼类的种类组成和优势种、物种多样性、群落结构特征和群落与环境因子间的关系进行研究, 以期对温州南部海域鱼类资源的保护和管理及可持续利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查站位及样品采集

按《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)^[7], 2015 年 5 月和 9 月对温州南部沿岸海域进行底拖

收稿日期: 2016-07-04; 修订日期: 2016-09-03.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41006075); 浙江省软科学研究重点项目(2015C25018); 浙江省重中之重学科“海洋科学学科”项目.

作者简介: 董静瑞(1992-), 女, 从事渔业资源与生态研究. E-mail: dongjingrui05@163.com

通信作者: 水柏年, 教授, 主要从事海洋生物资源与生态研究. E-mail: shuibonian@163.com

网渔业资源调查,共 12 个站位(图 1)。春季,由于海况和特殊的海底地形等因素,无法采用底拖网,因此放弃了对 11 号站位的采样。在拖拽时,网口张开宽度约为 14 m,囊网网目尺寸为 20 mm。调查时每网拖拽时间约为 0.5 h,平均拖速为 3 kn。渔获物总重量在 30~40 kg 时,全部取样分析;大于 40 kg 时从中挑出大型及稀有的样品后,再随机取出 20 kg 渔获物样品分析。对所采集的渔获物低温保存,在实验室中对鱼类进行生物学测定,记录数据并对其进行标准化的分析。各站位同步调查底层温度、盐度、悬浮物、溶解氧、pH 以及水深等环境因子。

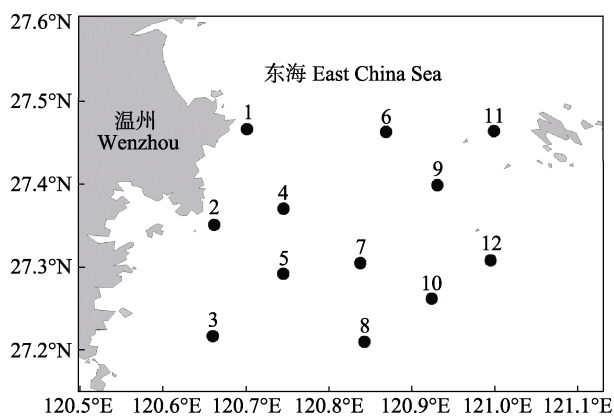


图 1 温州南部沿岸海域渔业资源调查站位(•)

Fig. 1 Survey stations (•) of fisheries resource in the south coastal waters of Wenzhou

1.2 数据处理方法

1.2.1 种类组成及优势种 依据徐兆礼^[2]、郑元甲等^[8]对适温类型的分析方法将温州南部沿岸海域鱼类划分为暖水种、暖温种、冷温种。鱼类的优势种分析,采用相对重要性指数(index of relative importance, IRI)进行判定:

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

式中, N 为某一鱼类的尾数占总尾数的百分比; W 为某一鱼类的质量占总质量的百分比; F 为某一鱼类出现的站位数占总站位数的百分比。其中将 IRI 值大于 1000 的鱼类定义为优势种, IRI 值大于 100 小于 1000 的鱼类定义为重要种。

1.2.2 物种多样性指数 采用 Margalef 种类丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')对温州南部沿岸海域鱼类物

种多样性进行分析^[9-11]。

Margalef 种类丰富度指数(D):

$$D = (S - 1) / \ln N$$

Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

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

Pielou 种类均匀度指数(J'):

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

式中, S 为种类数; N 为总渔获质量(g); P_i 为第 i 种鱼类占总渔获质量的比。

1.2.3 群落结构分析 在进行分析群落结构之前,对原始数据进行预处理。剔除出现在 1 个站位的鱼类,以减少机会种对群落结构分析的影响。对鱼类生物量数据采用平方根转化,降低少数优势种权重对数据分析的影响。对鱼类群落进行等级聚类(CLUSTER)和非度量多维测度(NMDS)分析,然后将群落分成若干站位组;采用相似性百分比法(SIMPER)对站位组内相似性和组间相异性的贡献率进行分析;采用 Pearson 相关系数对各站位多样性指数与环境因子的关系进行分析。

1.2.4 典范对应分析 典范对应分析(CCA)对环境因子和鱼类数据进行分析,以确定影响鱼类群落空间分布特征最显著的环境因子。其特点是可以结合多个环境因子一起分析,包含的信息量大,结果直观明显,从而更好地反映群落与环境的关系。CCA 排序分析采用 CANOCO4.5 软件完成^[12]。

2 结果与分析

2.1 鱼类的种类组成及其数量分布

春季和秋季,共鉴定出鱼类 47 种,其中硬骨鱼纲(Osteichthyes) 46 种,软骨鱼纲(Chondrichthyes) 1 种,隶属于 9 目 27 科 41 属。从目级分类阶元来看,鲈形目种类最多共 26 种,占鱼类总种数的 55.3%;其次为鲱形目(Clupeiformes),共 6 种,占 12.8%;再次为鲹形目(Tetraodontiformes),共 4 种,占 8.51%。从适温性分析,暖温种鱼类最多(27 种),占总种数的 57.5%;暖水种次之,有 19 种,占 40.4%;而冷温种最少,仅 1 种,占 2.1% (表 1)。

春季,鱼类生物量平均值为 52.67 kg/km²,其

表 1 温州南部沿岸海域鱼类名录
Tab. 1 List of fish species in the south coastal waters of Wenzhou

编号 No.	种名 species	春季 spring	秋季 autumn	适温性 TAT
1	鲢 <i>Miichthys niluoy</i>		+	Δ
2	宽体舌鳎 <i>Cynoglossus robustus</i>	+	+	Δ
3	焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	+	+	Δ
4	短吻舌鳎 <i>Cynoglossus abbreviatus</i>	+		Δ
5	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	+	+	Δ
6	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	+	+	Δ
7	鳓 <i>Ilisha elongata</i>	+	+	○
8	赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammakensis</i>	+		Δ
9	日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	+	+	Δ
10	青鳞小沙丁鱼 <i>Sardin ilazunasi</i>		+	Δ
11	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	+	+	Δ
12	鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	+		○
13	镰鲷 <i>Pampus echinogaster</i>	+	+	Δ
14	刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	+	+	Δ
15	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	+	+	Δ
16	六丝矛尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturich thyshexanema</i>	+		Δ
17	二长棘鲷 <i>Parargyrops edita</i>	+		○
18	黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	+		Δ
19	尖头黄鳍牙鲷 <i>Chrysochir aureus</i>	+		Δ
20	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	+	+	Δ
21	大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	+	+	Δ
22	叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	+	+	○
23	孔虾虎鱼 <i>Trpauchen vagina</i>	+	+	Δ
24	褐篮子鱼 <i>Siganus fuscenssens</i>		+	○
25	花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	+		Δ
26	红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	+	+	○
27	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	+		Δ
28	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	+	+	Δ
29	鲈 <i>Pneumatophorus japonicus</i>	+		○
30	蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	+		○
31	竹荚鱼 <i>Trachurus japonicus</i>		+	Δ
32	横带髭鲷 <i>Hapalogenys mucronatus</i>	+		Δ
33	条尾绯鲤 <i>Upeneus bensasi</i>	+		○
34	六指马鲛 <i>Polynemus sextarius</i>		+	○
35	四指马鲛 <i>Eleutheronema telradactylus</i>		+	○
36	裸鳍虫鳗 <i>Muraenichthys gymmpterus</i>	+		○
37	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	+	+	○
38	中华须鳗 <i>Cirrhimuraena kaup</i>	+		○
39	中华海鲈 <i>Arius sinensis</i>	+		○
40	黄鳍东方鲀 <i>Takifugu xanthopterus</i>		+	□
41	横纹东方鲀 <i>Takifugu oblongus</i>		+	Δ
42	暗纹东方鲀 <i>Takifugu obscurus</i>		+	Δ
43	丝背细鳞鲀 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>		+	Δ
44	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	+	+	○
45	鲻 <i>Platycephalus indicus</i>		+	○
46	绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>	+		○
47	尖头斜齿鲨 <i>Scoliodon sorrakowah</i>		+	○

注: “○”表示暖水性, “Δ”表示暖温性, “□”表示冷温性; TAT: 表示适温性。

Note: “○” means the warm water species; “Δ” means the warm-temperature species, “□” means the cold-temperature species. TAT means the temperature adaptive type.

中 7 号站位生物量最高, 达 155.23 kg/km²; 3 号站位次之, 为 98.68 kg/km²; 而 5 号站位生物量最低, 仅 19.91 kg/km²。鱼类丰度平均值为 11395.19 ind/km², 其中 7 号站位丰度最高, 达 27434.95 ind/km²; 3 号站位次之, 为 16172.99 ind/km²; 而 1 号站位丰度最低, 仅 2982.62 ind/km²。

秋季, 鱼类生物量平均值为 182.61 kg/km², 其中 1 号站位生物量最高, 达 295.26 kg/km²; 11 号站位次之, 为 282.66 kg/km²; 而 6 号站位生物量最低, 仅 50.79 kg/km²。鱼类丰度平均值为 33153.35 ind/km², 其中 12 号站位丰度最高, 达 69222.46 ind/km²; 7 号站位次之, 为 64578.83 ind/km²; 而 6 号站位丰度最低, 仅 10259.18 ind/km²。

2.2 优势种的季节变化

春季, 优势种为日本鳀、镰鲷、六丝矛尾虾虎

鱼等, 重要种为龙头鱼、白姑鱼、蓝圆鲹等; 秋季, 优势种为龙头鱼、棘头梅童鱼和六指马鲛, 重要种为海鳗、小黄鱼、鳙等(表 2)。

春季和秋季鱼类优势种质量分别占鱼类总质量的 49.3%和 50.8%, 尾数分别占总尾数的 49.9%和 50.1%。春季, 日本鳀相对重要性指数最高, 达 3505.6。秋季, 龙头鱼相对重要性指数最高, 达 7571.7。春季和秋季共同优势种为棘头梅童鱼, 春季分别占总质量和总尾数的 27.2%和 27.5%, 而秋季分别占 7.5%和 40.5%(表 2)。调查表明, 所得的主要鱼类营养级介于 3.10~4.50^[13-14], 总体表现为中低级。

2.3 物种多样性指数

春季和秋季, 温州南部沿岸海域鱼类群落 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 值分别为 1.863±

表 2 温州南部沿岸海域主要鱼类相对重要性指数及营养级
Tab. 2 Index of relative importance of main fish and trophic level in the south coastal waters of Wenzhou

季节 season	优势种 dominant species	F %	W %	N %	IRI	营养级 trophic level
春季 spring	日本鳀 <i>E. japonicus</i>	81.8	12.2	30.7	3505.6	3.10
	镰鲷 <i>P. echinogaster</i>	90.9	22.9	15.2	3463.4	3.20
	六丝矛尾虾虎鱼 <i>A. hexanema</i>	90.9	2.6	13.6	1473.1	3.40
	棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	72.7	14.7	4.8	1418.9	3.50
	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	81.8	9.1	2.4	946.0	4.20
	白姑鱼 <i>A. argentatus</i>	54.5	3.7	11.1	807.6	3.47
	蓝圆鲹 <i>D. maruadsi</i>	54.5	3.8	8.8	689.2	3.40
	海鳗 <i>M. cinereus</i>	63.6	8.0	0.3	528.2	4.38
	带鱼 <i>T. haumela</i>	100.0	2.0	1.9	390.5	4.50
	宽体舌鳎 <i>C. robustus</i>	54.5	3.4	0.4	207.2	—
	红狼牙虾虎鱼 <i>O. rubicundus</i>	81.8	1.5	0.8	188.0	—
	绿鳍鱼 <i>C. kumu</i>	63.6	1.3	1.4	167.3	3.68
	尖头黄鳍牙鲷 <i>C. aureus</i>	54.5	2.5	0.2	144.4	3.50
	二长棘鲷 <i>P. edita</i>	45.5	0.4	2.8	143.1	—
秋季 autumn	刺鲷 <i>P. anomala</i>	36.4	1.7	2.0	135.3	4.00
	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	100.0	35.5	40.2	7571.7	4.20
	棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	133.2	16.0	34.6	4218.1	3.50
	六指马鲛 <i>P. sextarius</i>	70.6	8.5	10.6	1590.8	3.79
	海鳗 <i>M. cinereus</i>	58.3	7.7	0.2	464.9	4.38
	小黄鱼 <i>P. polyactis</i>	50.0	6.2	1.0	361.3	3.64
	鳙 <i>I. elongata</i>	50.0	5.9	0.4	315.5	3.79
	大黄鱼 <i>P. crocea</i>	50.0	2.4	0.5	148.4	3.72
	黄鲫 <i>S. taty</i>	58.3	1.8	0.5	134.6	—
	鲻 <i>P. indicus</i>	8.3	2.0	10.6	104.8	4.09

注: “—”表示未查到的营养级。
Note: “—” means the unchecked trophic level.

0.443 和 1.390 ± 0.311 , Margalef 种类丰富度指数 D 值分别为 1.892 ± 0.580 和 0.984 ± 0.204 , Pielou 种类均匀度指数 J' 值分别为 0.693 ± 0.093 和 0.660 ± 0.091 (图 2)。

通过 Pearson 对 H' 、 D 和 J' 与环境因子进行相关性分析(表 3), 得出 D 和 H' 与溶解氧呈极显著正相关($P<0.01$), D 与温度呈极显著负相关($P<0.01$); H' 与温度呈显著正相关($P<0.05$), D 与盐度呈显著正相关, 而与悬浮物呈显著负相关($P<0.05$); J' 与环境因子无相关性。

2.4 鱼类群落结构

对春季和秋季鱼类群落进行 CLUSTER 分析和 NMDS 分析。春季, 调查站位在相似度为 30.29%

时, 可划分为 2 组(图 3、图 4)。相似性百分比 (SIMPER) 分析造成各站位组内群落结构相似的典型种和组间群落结构差异的分歧种及其贡献率。A 组由日本鳀、蓝圆鲀、带鱼等 18 种鱼类组成, 其中典型种为日本鳀、蓝圆鲀和刺鲀, 组内平均相似性的累积贡献率是 93.07%; B 组由棘头梅童鱼、海鳗、白姑鱼等 34 种鱼类组成, 其中典型种为棘头梅童鱼、镰鲳、龙头鱼等, 组内平均相似性的总贡献率是 91.17%。A 组和 B 组的分歧种有日本鳀、蓝圆鲀、刺鲀等, 组间平均相异性的累积贡献率是 90.95% (表 4)。

秋季, 调查站位在相似度为 33.57% 时, 可划

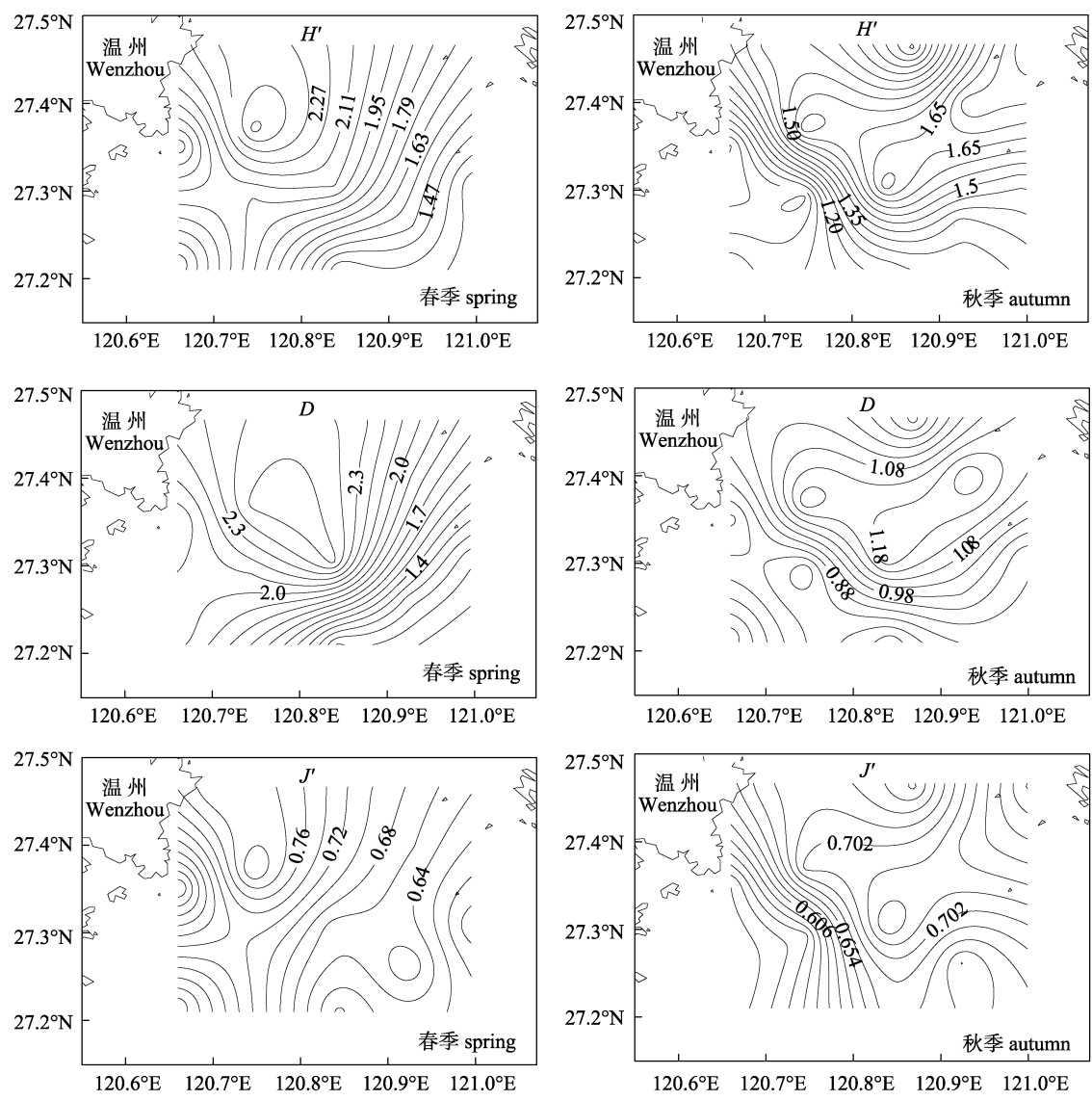


图 2 温州南部沿岸海域物种多样性指数空间分布
Fig. 2 Biodiversity indices of spatial distribution in the south coastal waters of Wenzhou

表 3 温州南部沿岸海域物种多样性指数
与环境因子的相关性

Tab. 3 Relationship between the biodiversity indices and environment factors in the south coastal waters of Wenzhou

变量 variable	<i>D</i>	<i>J'</i>	<i>H'</i>
水深 <i>De</i>	-0.300	-0.191	-0.299
酸碱度 <i>pH</i>	0.072	-0.076	-0.008
温度 <i>T</i>	-0.703**	-0.164	-0.514*
盐度 <i>S</i>	0.514*	0.066	0.339
溶解氧 <i>DO</i>	0.686**	0.251	0.558**
悬浮物 <i>SPM</i>	-0.414*	-0.220	-0.379

注: “**”表示极显著相关($P<0.01$), “*”表示显著相关($P<0.05$).
Note: “**” means the high significant correlation ($P<0.01$), “*” means the significant correlation ($P<0.05$).

分为 3 组(图 3、图 4)。通过相似性百分比(SIMPER)分析造成各站位组内群落结构相似的典型种和组间群落结构差异的分歧种及其贡献率。A 组由龙头鱼、棘头梅童鱼、镰鲷等 13 种鱼类组成, 其中典型种包括龙头鱼和鳎, 组内平均相似性的累积贡献率是 93%; B 组由龙头鱼、鳎、六指马鲛等 17 种鱼类组成, 其中典型种包括龙头鱼、六指马鲛和大黄鱼, 组内平均相似性的累积贡献率是 95.77%; C 组由龙头鱼、小黄鱼、海鳗等 19 种鱼类组成, 其中典型种包括龙头鱼、六指马鲛、棘头梅童鱼等, 组内平均相似性的累积贡献率是 95.21%。A 组和 B 组的分歧种有龙头鱼、鳎、六指马鲛等, 组间平均相异性的累积贡献率是 90.15 %; A 组和 C 组的分歧种有龙头鱼、六指马鲛、棘头梅童鱼等, 组间平均相异性的累积贡献率是 90.92%; B 组和 C 组的分歧种有龙头鱼、鳎、六指马鲛等, 组间平均相异性的累积贡献率是 92.60% (表 4)。

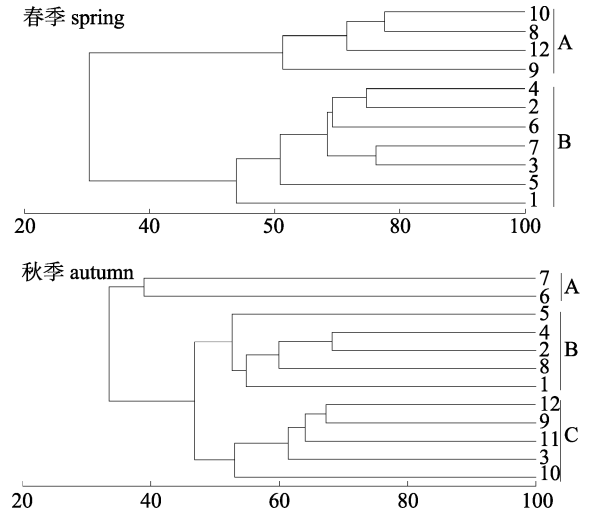


图 3 温州南部沿岸海域鱼类群落 Bray-Curtis 相似性聚类
图中右侧数字表示站位号, 与图 1 对应。
Fig. 3 Bray-Curtis similarity clustering for fish community structure in the south coastal waters of Wenzhou
The number in the right end meaning the position number, corresponding with those in Fig. 1.

2.5 鱼类群落与环境因子间的关系

对春季和秋季的环境因子进行比较发现, 春季 pH、盐度和溶解氧的均值高于秋季, 而温度和悬浮物的均值低于秋季。CCA 排序结果显示(图 5), 春季第一轴和第二轴的特征值分别为 0.519 和 0.194, 其相关系数分别为 0.871 和 0.825, 解释了物种变异的 49.6%和环境变异的 73.2%; 秋季第一轴和第二轴的特征值分别为 0.417 和 0.303, 其相关系数分别为 0.971 和 0.974, 解释了物种变异的 35.9%和环境变异的 59.1%, 说明两个排序轴相关性很小, 排序结果可靠。

春季 pH 与第一排序轴正相关系数最高, 与

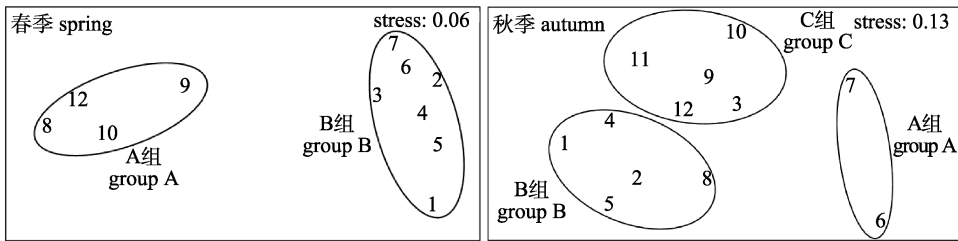


图 4 温州南部沿岸海域鱼类群落结构的 NMDS 分析
数字表示站位号, 与图 1 对应。
Fig. 4 NMDS results of fish community structure in the south coastal waters of Wenzhou
The numbers mean the sampling stations, corresponding with those in Fig. 1.

表 4 温州南部沿岸海域鱼类群落组内典型种和组间分歧种及贡献率
Tab. 4 Typifying species within station groups/discriminating species between spatial groups and their contributions percentage for fish community structure in the south coastal waters of Wenzhou

春季 spring				秋季 autumn						
种类 species	A	B	A+B	种类 species	A	B	C	A+B	A+C	B+C
日本鳀 <i>E. japonicus</i>	65.65		19.23	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	82.45	81.33	32.76	19.43	19.95	20.79
蓝圆鲹 <i>D. maruadsi</i>	19.26		7.03	鲷 <i>I. elongata</i>	10.55			11.30		6.93
刺鲷 <i>P. anomala</i>	8.16		3.49	六指马鲛 <i>P. sextarius</i>		7.50	12.87	11.08	8.03	7.07
棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>		25.27	13.69	大黄鱼 <i>P. crocea</i>		6.94		6.29		3.63
镰鲷 <i>P. echinogaster</i>		20.17	17.23	棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>			29.82	11.02	21.65	22.55
龙头鱼 <i>H. nehereus</i>		17.08	9.02	小黄鱼 <i>P. polyactis</i>			10.34		9.46	9.87
海鳗 <i>M. cinereus</i>		6.96	5.69	海鳗 <i>M. cinereus</i>			9.42	7.60	8.36	8.38
尖头黄鳍牙鲷 <i>C. aureus</i>		4.27	2.73	镰鲷 <i>P. echinogaster</i>				4.43	2.97	
宽体舌鲷 <i>C. srobustus</i>		4.14	2.99	鲷 <i>P. indicus</i>				11.07	7.42	
六丝矛尾虾虎鱼 <i>A. hexanema</i>		3.63	1.76	黄鲫 <i>S. taty</i>				2.50		
白姑鱼 <i>A. argentatus</i>		3.00	2.76	尖头斜齿鲨 <i>S. sorrakowah</i>				2.17	2.19	2.93
红狼牙虾虎鱼 <i>O. rubicundus</i>		2.65	1.44	鲩 <i>M. niuuy</i>				3.26	6.21	7.61
矛尾虾虎鱼 <i>C. stigmatias</i>		2.04		宽体舌鲷 <i>C. srobustus</i>					2.87	2.84
绿鳍鱼 <i>C. kumu</i>		1.96		带鱼 <i>T. haumela</i>					1.81	
短吻舌鲷 <i>C. abbreviates</i>			2.30							
小黄鱼 <i>P. polyactis</i>			1.59							
总计 total	93.07	91.17	90.95	总计 total	93.00	95.77	95.21	90.15	90.92	92.60

温度呈最大负相关, 即在排序图中 pH 从左到右逐步增加, 而温度和悬浮物逐步降低; 第二排序轴, 与 pH 呈最大正相关, 而与盐度呈最强的负相关, 即在排序图中 pH 由下至上逐步增加, 盐度、温度和水深逐步降低。秋季所有的环境因子与第一排序轴呈负相关, 其中水深相关系数最高达 -0.7882, 这表明在排序图中这 6 个环境因子从左到右逐步降低; pH 与第二排序轴正相关系数最高, 其次是盐度呈最大负相关, 即在排序图中 pH 由上至下逐步增加, 盐度、温度和悬浮物逐步降低(表 5)。

3 讨论

3.1 鱼类种类与优势种组成分析

温州南部沿岸海域地处中亚热带海洋性气候区, 受沿岸流和台湾暖流的影响较大, 其鱼类群落区系以暖水性和暖温性种类为主。王陈等^[4]调查研究表明该海域鱼类共 83 种, 而本研究捕获鱼类 47 种, 这可能与研究海域范围、调查季节和调查频次等有关。吕振波等^[15]研究认为, 过度捕捞和环境退化造成资源衰退, 种群数量较少, 降低了被捕获的几率。过度捕捞和生境退化不仅使重

表 5 排序轴特征值及其与环境变量的相关系数
Tab. 5 Eigenvalues of axes and their correlation coefficients with environmental variables

季节 season	变量 variable	轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2	季节 season	变量 variable	轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2
春季 spring	特征值 eigenvalue	0.5190	0.1940	秋季 autumn	特征值 eigenvalue	0.4170	0.3030
	水深 <i>D</i>	0.7514	-0.5171		水深 <i>D</i>	-0.7882	0.0705
	酸碱度 pH	0.9233	0.2994		酸碱度 pH	-0.7900	0.4004
	温度 <i>T</i>	-0.6445	-0.0386		温度 <i>T</i>	-0.3399	-0.1392
	盐度 <i>S</i>	0.6358	-0.6374		盐度 <i>S</i>	-0.7455	-0.4651
	溶解氧 DO	0.1870	0.0972		溶解氧 DO	-0.0849	0.0176
	悬浮物 SPM	-0.6004	0.2814		悬浮物 SPM	-0.1944	-0.2731

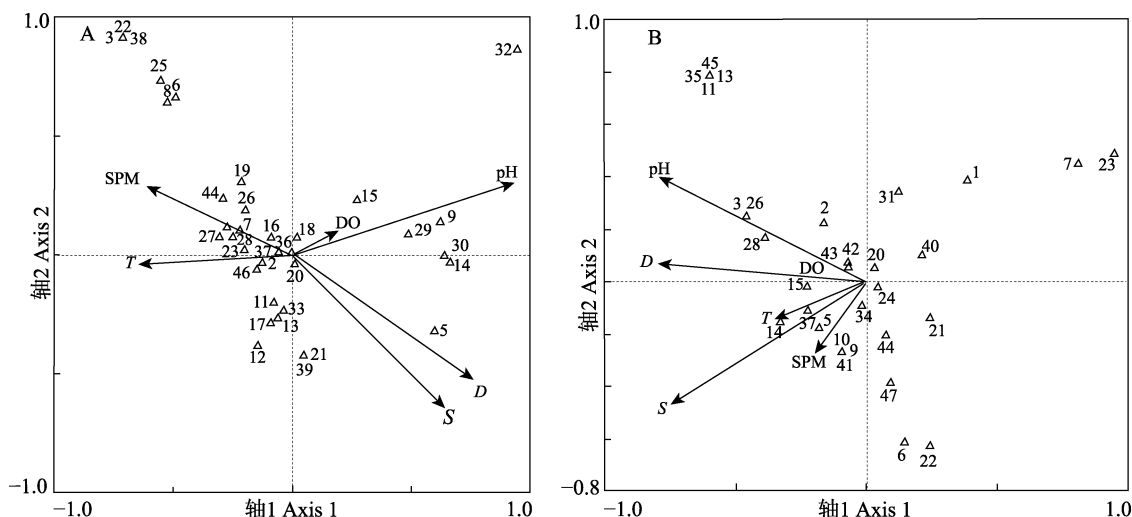


图 5 温州南部沿岸海域春季(A)、秋季(B)鱼类与环境因子的 CCA 排序

Fig. 5 CCA biplot of species composition of survey stations and environmental factors in the south coastal waters of Wenzhou in spring (A) and autumn (B)

要经济鱼类减少,还可能使鱼类群落的营养级下降。此外,随着鱼类群落捕食者减少,高营养级捕食者对低营养级被捕食者的数量影响机制弱化,使得群落稳定性和抗干扰能力下降。

优势种是影响鱼类群落特征因素之一,其种类变化可能影响到群落种类组成、能量流动和物质循环。春季优势种为日本鳀、镰鲷、六丝矛尾虾虎鱼和棘头梅童鱼;秋季优势种为龙头鱼、棘头梅童鱼与六指马鲛。鱼类优势种组成的季节变化较大,这与优势种在不同季节交替利用沿岸海域进行生殖、索饵等栖息活动有关,这可能是自然选择通过种间竞争使生态位分化的结果^[16]。人类活动对温州南部海域鱼类群落优势种类组成有一定的影响,目前该海域捕捞水平已远超过其最适捕捞量,从而导致海区内优势种由长生命周期、高营养层次、大中型种类向短生命周期、低营养层次、中小型种类变化。

3.2 物种多样性特征与环境因子的关系

物种多样性指数是反映群落特征的重要指标之一。春季鱼类群落物种多样性指数总体呈现由近岸向远岸、西北向东南降低趋势;而秋季则呈近岸向远岸、西南向东北的增高趋势。春季是多种鱼类的生殖季节,亲鱼群体和幼鱼群体主要栖息于沿岸海域,因此沿岸海域鱼类群落物种多样性较高;而到了秋季亲鱼群体和幼鱼群体向东南

海域洄游,主要栖息于较深的远岸海域,因此远岸海域鱼类群落物种多样性较高。此外,物种多样性的变化与闽浙沿岸流与台湾暖流随季节消长及分布变化有关。

不同环境因子(如温度、盐度和溶解氧等)梯度往往对鱼类群落多样性及其时空分布具有显著影响^[17-19]。本研究表明,溶解氧、温度、盐度和悬浮物与鱼类群落物种多样性(D 、 H')呈极显著或显著性相关。其中,溶解氧、温度和盐度的梯度变化影响鱼类生长发育及其空间分布,进而影响鱼类群落物种多样性,这与冯广朋^[20]研究结果相一致。除此之外,悬浮物也能影响鱼类群落多样性。这是由于水体中的悬浮物含量升高,会降低透明度不利于浮游植物的光合作用,影响浮游生物食性鱼类的分布,进而影响鱼类群落多样性。

3.3 鱼类群落结构及其与环境因子的关系

春季,鱼类可分为 A 与 B 两个站位组, A 组中的站位分布于调查海域的东南部,其物种多样性较低,典型种主要为日本鳀、蓝圆鲀和刺鲳; B 组中的站位分布于调查海域的西北部,其物种多样性相对较高,典型种主要为棘头梅童鱼、镰鲷、龙头鱼等。秋季,分为 A、B 与 C 三个站位组,秋季的 A 组中站位分布于调查海域的中部,其典型种包括龙头鱼和鳎; B 组中的站位多分布于西北沿岸海域,其典型种包括龙头鱼、六指马鲛和大

黄鱼; C组中的站位主要分布于调查海域的外侧,其典型种包括龙头鱼、六指马鲛、棘头梅童鱼、小黄鱼和海鳗。此外,组内的典型种一定程度上是组间的分歧种和群落的优势种,进一步分析表明,组内的典型种和组间的分歧种大都为不同站位组的优势种,因此鱼类群落结构特征可能是由于站位组的种类优势种组成及数量的相对变化造成的,这与王小林等^[21]的研究结果相一致。

CCA分析较好地解释了鱼类与环境因子间的内在联系,揭示鱼类在不同环境因子中的生态分化现象,主要表现为对不同环境的适应性^[22]。研究表明,水温、水深和盐度等对鱼类群落的影响比较显著^[23-24]。本研究发现,除水深、盐度和温度等环境因子对鱼类群落的影响外,pH对鱼类群落的影响也比较显著。pH是水体中一些化学性质的总和,是其他因素共同作用的结果,在一定的空间内也受盐度和温度的影响^[25]。因此,pH与温度和盐度共同构成了影响鱼类群落结构的环境因子,这与翟璐等^[26]的研究结果基本一致。CCA排序图表明,春季鱼类群落的划分很明显,这可能是该海域受台湾暖流涌入的影响,呈现出高温高盐的特征,盐度也随之增加,在局部的沿岸地带形成较为明显的盐度梯度,进而影响着春季鱼类群落的划分。秋季,随着台湾暖流开始撤退,低温、低盐和携带大量泥沙的浙闽沿岸流逐步控制该海域。因此,温度、盐度以及悬浮物等环境因子可能会影响鱼类群落结构划分,这有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Shen A L, Xu Z L. Preliminary investigation on the fishes of Oujiang River estuary[J]. *Marine Fisheries*, 2008, 30(3): 285-290. [沈益绿, 徐兆礼. 瓯江口海域夏秋季鱼类初步调查[J]. *海洋渔业*, 2008, 30(3): 285-290.]
- [2] Xu Z L. Analysis of fish diversity in the waters off the Oujiang estuary in summer and autumn[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 5948-5956. [徐兆礼. 瓯江口海域夏秋季鱼类多样性[J]. *生态学报*, 2008, 28(12): 5948-5956.]
- [3] Hu C Y, Xu H, Shui B N, et al. Community structure and species diversity of nekton in the seas near Oufei beach of Wenzhou[J]. *South China Fisheries Science*, 2015, 11(3): 7-15. [胡成业, 徐衡, 水柏年, 等. 温州瓯飞滩邻近海域春季游泳动物群落结构及多样性[J]. *南方水产科学*, 2015, 11(3): 7-15.]
- [4] Wang C, Wang S M, Zheng J. Species composition and quantitative distribution of fish in Cangnan area and nearby waters[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2014(4): 322-331. [王陈, 王姝曼, 郑基. 浙江苍南近海海域鱼类种类组成和数量分布研究[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2014(4): 322-331.]
- [5] Hu C Y, Shui Y Y, Du X, et al. Niche and interspecific association of nekton in the south coastal waters of Cangnan, Zhejiang, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(10): 3195-3201. [胡成业, 水玉跃, 杜肖, 等. 浙江苍南南部沿岸海域主要游泳动物生态位及种间联结性[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(10): 3195-3201.]
- [6] Tang Q S, Su J L, Zhang J. Key processes and sustainable mechanisms of ecosystem food production in the coastal ocean of China[J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(12): 1280-1287. [唐启升, 苏纪兰, 张经. 我国近海生态系统食物产出的关键过程及其可持续机理[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(12): 1280-1287.]
- [7] Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration. The Specification for Marine Part: Ecological survey Offshore Pollution and Biological Monitoring[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [国家海洋局第三海洋研究所. GB/T 12763.6-2007海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [8] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. The Biological Resources and Environment of the Continental Shelf of the East China Sea[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Press, 2003. [郑元甲, 陈学忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003.]
- [9] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. *Internat J Gene Syst*, 1958, 3(1): 36-71.
- [10] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1948.
- [11] Pielou E C. Ecological Diversity[M]. New York: John Wiley and Sons, 1975.
- [12] TerBraak C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [13] Froese R, Pauly D. FishBase[OL]. <http://www.fishbase.se/search.php>.
- [14] Ji W W, Li S F, Chen X Z, et al. Variation in trophic structure of nekton organisms from the northern East China Sea and adjacent waters based on stable isotope values[J]. *Marine Fisheries*, 2015(6): 494-500. [纪炜炜, 李圣法, 陈雪忠, 等.

- 基于稳定同位素方法的东东北部及其邻近水域主要游泳动物营养结构变化[J]. 海洋渔业, 2015(6): 494–500.]
- [15] Lü Z B, Li F, Wang B, et al. Community structure of fish resources in spring and autumn in the Yellow Sea off Shandong[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(5): 692–699. [吕振波, 李凡, 王波, 等. 黄海山东海域春、秋季鱼类群落结构[J]. 水产学报, 2011, 35(5): 692–699.]
- [16] Shan X J, Jin X S. Diversity of fish community structure in the spring-time off shore waters at the Yangtze River estuary[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(1): 32–40. [单秀娟, 金显仕. 长江口近海春季鱼类群落的多样性研究[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(1): 32–40.]
- [17] Ter Hofstede R, Hiddink J G, Rijnsdorp A D. Regional warming changes fish species richness in the eastern North Atlantic Ocean[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2010, 414: 1–9.
- [18] Cardoso I, França S, Pais M P, et al. Fish assemblages of small estuaries of the Portuguese coast: A functional approach[J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2011, 93: 40–46.
- [19] Lucifora L O, García V B, Menni R C, et al. Spatial patterns in the diversity of sharks, rays, and chimaeras (Chondrichthyes) in the Southwest Atlantic[J]. Biodivers Conserv, 2012, 21(2): 407–419.
- [20] Feng G P. A review on the fish community diversity: theories and methods[J]. Ecological Science, 2008, 27(6): 506–514. [冯广朋. 鱼类群落多样性研究的理论与方法[J]. 生态科学, 2008, 27(6): 506–514.]
- [21] 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.]
- [22] Xu B D, Zhang F, Mei C, et al. Characteristics of fish community structure in the central Jiaozhou Bay in spring and summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(6): 1558–1564. [徐宾铎, 张帆, 梅春, 等. 胶州湾中部海域春、夏季鱼类群落结构特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1558–1564.]
- [23] Shi Y R. Studies on fish community diversity and community dynamics based on multivariate analysis in the Yangtze River[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.]
- [24] Zhai L, Han D Y, Fu D J, et al. Fish community structure and the relationship with environmental factors in Jiaozhou Bay and adjacent waters[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(4): 810–821. [翟璐, 韩东燕, 傅道军, 等. 胶州湾及其邻近海域鱼类群落结构及与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2014, 21(4): 810–821.]
- [25] Li G G, Fan Z G. Marine Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2011. [李冠国, 范振刚. 海洋生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.]
- [26] Zhai L, Xu B D, Ji Y P, et al. Spatial pattern of fish assemblage and the relationship with environmental factors in Yellow River Estuary and its adjacent waters in summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(9): 2852–2858. [翟璐, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 黄河口及其邻近水域夏季鱼类群落空间格局及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2852–2858.]

Fish community structure and its relationships with environmental factors in the southern inshore waters of Wenzhou

DONG Jingrui¹, HU Chengye¹, SHUI Yuyue², TIAN Kuo¹, DU Xiao³, SHUI Bonian¹

1. College of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China;

2. Zhoushan Bureau of Oceanology and Fishery, Zhoushan 316000, China;

3. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Ningbo Laboratory, Ningbo 315000, China

Abstract: The southern coastal waters of Wenzhou is in the mid to southern parts of the East China Sea. This area is influenced by the high temperature and high salinity conditions of the Taiwan Warm Current, the low salinity of the Zhejiang Coastal Current, and the southern coastal upwelling. These waters are rich in nutrients and baitfish and are highly diverse with fish species. The area is a typical ecological region of the East China Sea shelf. Cluster analysis, non-metric multidimensional scaling, and a diversity index was used to analyze the patterns of community composition, diversity, and community structure based on data from two fishery resources investigations conducted in May (spring) and September (autumn) 2015 in the area. The results identified 47 species in the southern coastal waters of Wenzhou, which belonged to 41 genera, 27 families, nine orders, and two classes. Warmwater and warm temperate species were dominant, and Perciformes were the most abundant, with 26 species, followed by Clupeiformes, with six species. The third most frequent group was Tetraodontiformes, with four species. The dominant species in spring were *Engraulis japonicas*, *Pampus echinogaster*, *Amblychaeturichthys hexanema*, and *Collichthys lucidus*, accounting for 49.3% of the total catch. The dominant species in autumn were *Harpodon nehereus*, *Collichthys lucidus*, and *Polynemus sextarius*, accounting for 50.8% of total catch. *Engraulis japonicas*, *Decapterus maruadsi*, *Psenopsis anomala*, *Harpodon nehereus*, *Ilisha elongate*, and *Polynemus sextarius* were typically found at all stations in both seasons, and they were the major divergent species causing community differences among stations. Pearson's correlation analysis indicated that the richness index (D) and the Shannon–Wiener diversity index (H') were positively correlated with dissolved oxygen, salinity, and temperature. A canonical correspondence analysis suggested that the main environmental factors affecting the spatial patterns of fish assemblages were pH, depth, and salinity. pH represents the sum of some of the chemical properties in water and is the result of interactions among factors. pH can be affected by salinity and temperature. The canonical correspondence analysis results showed a division in the fish community in spring, which was likely due to influx of the high temperature and high salinity water in the Taiwan Warm Current. This current forms an obvious salinity gradient in the local coastal strip, which further affected the division of the spring fish community. The Taiwan Warm Current retreated in autumn, and the lower temperature and lower salinity of the Zhejiang and Fujian Coastal Currents gradually carried a large amount of silt into the study area. Therefore, whether temperature, salinity, and suspended particles affected the fish community structure requires further investigation.

Key words: fish; species diversity; community structure; environmental factors; canonical correspondence analysis (CCA)

Corresponding author: SHUI Bonian. E-mail: shuibonian@163.com