

# 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化<sup>\*</sup>

金显仕 邓景耀

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

**摘要** 通过1959~1999年间4次按季节进行的底拖网调查,分析了莱州湾渔业资源和优势种组成以及群落结构的变化。结果表明,1998年平均渔获量大幅度下降,分别仅为1959、1982和1992~1993年的3.3%、7.3%和11.0%;虽然季节间优势种有一定的变动,但鲰鱼、黄鲫、斑鲈和赤鼻稜鲰等小型中上层鱼类自80年代以来已替代了带鱼、小黄鱼成为优势种;渔业资源群落结构也随时间发生了较大的变化,多样性自1959~1982年增加,然后呈下降趋势。

外部的扰动特别是捕捞,在中等强度下会使鱼类多样性增加,但过高的捕捞强度又会使多样性下降。目前莱州湾渔业资源群落结构简单,处于较不平衡状态,群落演替将继续,在外部扰动大幅度降低的情况下,具有较强恢复力的小型中上层种类资源能够很快恢复和增长。

**关键词** 群落结构,生物多样性,演替,渔业资源,莱州湾

**Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay, Shandong/ JIN Xian-Shi, DENG Jing-Yao**

**Abstract** Based on seasonal bottom trawl surveys from 1959 to 1999, the variations in fishery resources, dominant species composition and community structure were analyzed. The results indicate that the biomass has continuously declined from 1959. The current biomass account for only 3.3%, 7.3% and 11.0% of that in 1959, 1982 and 1992~1993, respectively. Although dominant species vary in different seasons, the traditional large-sized demersal species, such as largehead hairtail (*Trichiurus haumela*) and small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*), have been replaced by small pelagic species, such as anchovy (*Engraulis japonicus*), half-fin anchovy (*Setipinna taty*), gizzard-shad (*Clupanodon punctatus*), and rednose anchovy (*Thrissa kammalensis*). The community structure has also changed, while species diversity increased from 1959 to 1982 and then decreased continuously.

The disturbance, particularly fishing, may increase the diversity at intermediate intensity, but too high fishing intensity may lead to diversity decrease. At present, the community structure is simple at un-equilibrium state in the Laizhou Bay, the community succession will continue, and the biomass of small pelagic species with high resilience may recover and increase if the disturbance is significantly reduced.

**Key words** community structure, biodiversity, succession, fishery resources, Laizhou Bay

**Author's address** Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071

莱州湾有黄河和小清河等多条河流入海,基础饵料丰富,是黄海、渤海多种经济鱼虾类重要的产卵场和栖息地。随着海洋捕捞业的不断发展,莱州湾的生物资源结构发生了变化,种类的交替出现及数量下降,渔获个体小型和低质化,严重地影响了渔业生产(邓景耀等,1988b;金显仕等,1998)。近几年入海河流的陆源污染日趋严重,导致赤潮频发且范围不断扩大,致使莱州湾渔业资源量和生态结构都发生了较大的变化。本文根据1998~1999年的调查并结合历

史调查资料,对该水域的资源结构和生物多样性进行了研究,为进一步在莱州湾开展增殖和有效的渔业管理提供科学依据。

## 1 材料和方法

1982、1992~1993年和1998年的5月(春季)、8月(夏季)、10月(秋季),我们在莱州湾(38°20'N以南),以及冬季(2月)在渤海中部越冬场,收集定点底拖网的渔获资料。调查船的功率为147 KW左右对拖,每次调查用网相同,网口高度经测算为6 m,网目63 mm,囊网网目为20 mm。每航次调查站位约20个左右,每站位拖网1小时。由于1959年的调查网具与现在的网具略有不同,故未使用该年的春、夏和秋季拖网渔获资料,仅将其用于资源结构的比较。

研究群落结构的基本指数有两种——多样性指数和相似性指数(Washington, 1984)。通常种类数随取样次数而变化,为消除由于各次调查站位不同而产生的种类数差异,用Margalef的种类丰度指数( $R$ )、Shannon多样性指数( $H$ )及Pielou均匀度( $J$ )表示莱州湾渔业的生物多样性(Ludwig et al., 1988)。由于不同种类及同种个体之间差别很大,Wilhm(1968)提出以生物量表示的多样性更接近种类间能量的分布,因此用生物量比用尾数来计算生物多样性对调查水域渔业资源更具意义。

用Bray和Curtis(1957)的不相似指数,计算各调查航次(季节)的种类生物量及其组成的差异,以分析莱州湾渔业资源随时间变化的特征:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^s |X_{ij} - X_{im}|}{\sum_{i=1}^s (X_{ij} + X_{im})}$$

相似性指数 =  $1 - B$ ; 其中  $X_{ij}$ ,  $X_{im}$  分别为第  $i$  种在  $j$  和  $m$  航次调查中的渔获量,  $s$  为种类数。

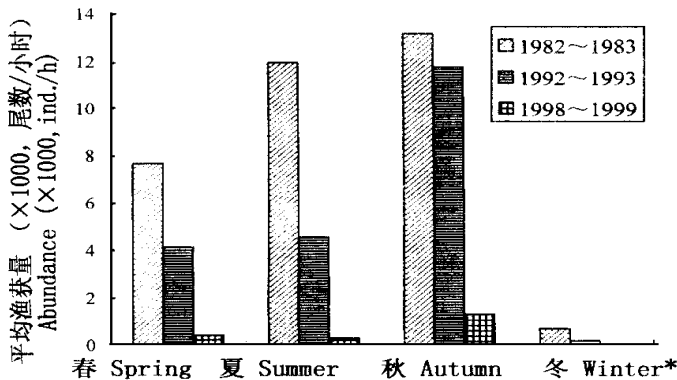
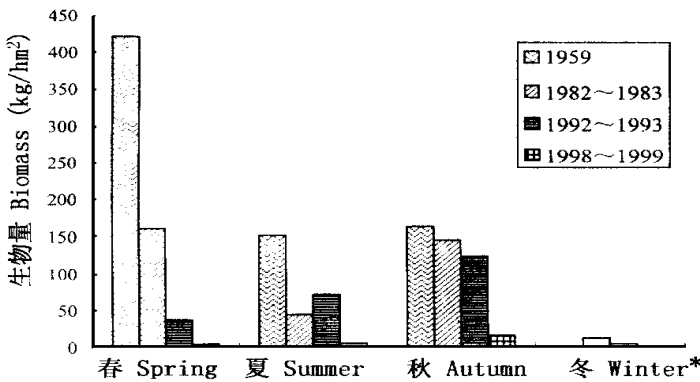


图1 莱州湾单位网次平均渔获量的季节及年间变化

Fig. 1 The seasonal and annual variations of average catch per haul in the Laizhou Bay

\*渤海越冬场 Overwintering ground in the Bohai Sea

## 2 结果

### 2.1 渔业资源群落结构的变化

莱州湾底拖网调查结果显示(图1),1998年春、夏、秋三季平均渔获量仅为1959年的3.3%、1982年的7.3%和1992~1993年的11.0%;平均渔获尾数分别为1982年和1992~1993年的6.1%和9.8%。虽然季节间有较大的变化,但渔业资源量呈大幅度下降的趋势。中上层鱼类占总渔获量的比例呈增长趋势,自1959年的平均8.0%增至1982年的48.3%、1992~1993年的

63.2%和 1998 年的 69.0%。而底层鱼类和经济无脊椎动物所占比例都有不同程度的下降。冬季由于大部分洄游性种类游离渤海至黄海中南部越冬,因此渔获种类和渔获量显著减少,1999 年比以前的调查也有较大的下降幅度(表 1),渔获量分别为 1983 和 1993 年的 5.7%和 18.6%。

表 1 莱州湾的 5 个优势种的季节及年间变化

Table 1 The seasonal and annual variations of top five species at each cruise in the Laizhou Bay

种类 Species	月份 Month	Percentage (%)			
		5 月 May	8 月 August	10 月 October	2 月 February
<b>1959 年</b>					
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>		78.2	18.8	37.4	
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>		15.4	30.4	21.1	
半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>		1.9			
鲷 <i>Platycephalus indicus</i>		0.8			
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>		0.7			
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>			12.4		
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>			8.9		
对虾 <i>Penaeus orientalis</i>			4.5	5.5	
油鲚 <i>Sphyraena pinguis</i>				4.7	
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>				4.5	
合计 Total		97.0	75.0	73.2	
<b>1982 ~ 1983 年</b>					
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>		41.7	28.8	18.1	
鰕鱼 <i>Engraulis japonicus</i>		25.2			
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>		10.4			
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>		4.2	9.8		
青鳞鱼 <i>Harengula zunasi</i>				6.1	
鲈鱼 <i>Lateolabrax japonicus</i>		4.1			9.9
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>			13.1	29.2	
枪乌贼 <i>Loligo beka</i>			11.2	6.8	
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>			7.1		
棘头梅童 <i>Collichthys lucidus</i>				4.5	
孔鲷 <i>Raja porosa</i>					28.9
梭鱼 <i>Liza so-iuy</i>					15.8
黑鳃梅童 <i>Collichthys niveatus</i>					6.2
黄盖鲽 <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>					6.1
合计 Total		85.6	70.0	64.7	66.9
<b>1992 ~ 1993 年</b>					
鰕鱼 <i>Engraulis japonicus</i>		60.1		29.6	
赤鼻稜鰕 <i>Thrissa kammalensis</i>		10.8	25.3		
枪乌贼 <i>Loligo beka</i>		9.2			
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>		6.5	11.3	10.0	
斑鲈 <i>Clupanodon punctatus</i>		2.3		14.7	
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>			6.5		
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>			26.7	9.7	

表1(续) Table 1 (continued)

种类 Species	月份 Month	Percentage (%)			
		5月 May	8月 August	10月 October	2月 February
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>			6.0	7.4	
孔鳐 <i>Raja porosa</i>					56.0
棘头梅童 <i>Collichthys lucidus</i>					16.5
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>					10.5
矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>					3.4
黄盖鲽 <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>					2.6
合计 Total		88.9	75.8	71.4	89.0
<b>1998 ~ 1999 年</b>					
赤鼻稜鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>		25.5	6.6		
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>		23.7		4.4	
鳀鱼 <i>Engraulis japonicus</i>		12.9			
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>		12.1	15.0	27.1	
斑鲈 <i>Clupanodon punctatus</i>		6.7		25.2	
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>			45.5		
银鲳 <i>Stromateoides argenteus</i>			9.6		
小带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>			6.2		
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>				11.4	
鲈鱼 <i>Lateolabrax japonicus</i>				7.1	
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>					67.7
矛尾复鰕虎鱼 <i>Synechogobius hasta</i>					11.2
孔鳐 <i>Raja porosa</i>					5.3
安氏新银鱼 <i>Ansalanx acuticeps</i>					5.2
矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>					3.0
合计 Total		80.9	82.9	75.2	92.4

## 2.2 优势种的变化

在4个时期的调查中,渔获物中优势种组成亦发生较大的变化,表1为各次调查中列前5位的经济种类所占总重量的百分比。1959年以带鱼和小黄鱼占绝对优势,对虾在夏、秋两季亦占较大的比例,分别为4.5%和5.5%。从1982年开始,优势种的组成季节间虽有较大的变化,但小型中上层种类已替代了底层种类成为优势种,如黄鲫、鳀鱼和枪乌贼等。三疣梭子蟹在夏、秋两季亦占较高的比例,分别为13.1%和29.2%。1992~1993年的调查中这种替代程度更高,鳀鱼、赤鼻稜鳀和黄鲫的生物量优势更加明显,如春季分别占60.1%、10.8%和6.5%。1998年鳀鱼生物量的大幅度下降使赤鼻稜鳀和黄鲫占了较大的优势,鳀鱼仅在春季为优势种,而赤鼻稜鳀在春、夏季分别占25.5%和6.6%。黄鲫除冬季外,在春、夏、秋季都为优势种,分别占总渔获量的12.1%、15.0%和27.1%。蓝点马鲛因当年的发生量较大,在夏季占明显的优势,其生物量虽然比1992年同期增加了314.5%,但仅为1982年同期的66%。带鱼自1982年调查以来已成为稀有种类,偶尔航次可以捕到。小黄鱼主要为当年生和1龄鱼,资源分布范围缩小、密度降低。

冬季优势种的组成也有较大变化,梭鱼、鲈鱼、黄盖鲽、梅童类和孔鳐等经济价值较高种类的生物量或大幅度下降,或根本未捕到。

### 2.3 多样性的变化

表 2 为 1982~1999 年间我们 3 年对莱州湾及冬季渤海越冬场渔业生物多样性指数的季节和年间变化的调查。从表中可以看出,渔获种类数和种类丰度( $R$ )呈逐年下降趋势:1982~1983 年 4 季平均种类数和丰度为 53 种和 3.81;1992~1993 年为 45 种和 3.33;1998~1999 年仅为 35 种和 2.95,1998~1999 年 4 季的渔获种类数都比前两次相应季节的调查有不同程度的减少。年间平均多样性指数( $H$ )亦呈下降趋势:1982~1983 年最高,为 2.39;1998~1999 年最低,为 1.93。均匀度指数( $J$ )则以 1982~1983 年最高,为 0.58;1992~1993 年最低,为 0.53。季节间种类数一般秋季多,冬季少,1998 年则以春季最多。多样性指数年内季节间变化较大,但各年都以秋季最高,3 年平均种类丰度、多样性和均匀度亦都是以秋季最高,分别为 3.93、2.47 和 0.63;种类丰度和多样性以冬季最低,分别为 2.52 和 1.78;均匀度春季最低,为 0.47,说明春季由黄海游入的不同种类的生物群体差别较大,而秋季的生物资源主要由补充群体组成,资源较均匀,冬季多数种类离开渤海至黄海越冬,种类数明显减少,在渤海越冬的种类生物量很低,种类间差别较大,因而多样性指数较高,均匀度亦较低。但 1983 年的冬季例外,从表 1 中可以看出,优势种间生物量组成差别较小,均匀度相对较高。由于 Shannon 多样性指数对稀有种不灵敏,因此计算出 1959 年春、夏、秋 3 季的  $H$  分别为 0.81、2.32 和 2.18,平均为 1.77,是 4 次调查中最低年份。

表 2 莱州湾渔业生物多样性指数的季节及年间变化

Table 2 The seasonal and annual variations of biodiversity indices of the fishery species in the Laizhou Bay

	1982~1983 年 (Year)					1992~1993 年 (Year)					1998~1999 年 (Year)					平均值 Mean			
	5月 May	8月 Aug.	10月 Oct.	2月 Feb.	平均 Mean	5月 May	8月 Aug.	10月 Oct.	2月 Feb.	平均 Mean	5月 May	8月 Aug.	10月 Oct.	2月 Feb.	平均 Mean	5月 May	8月 Aug.	10月 Oct.	2月 Feb.
种类数 No. of species	59	47	68	38	53	44	47	62	28	45	44	31	40	24	35	49	42	57	30
丰度 Richness ( $R$ )	3.88	4.00	4.47	2.87	3.81	3.30	3.41	4.25	2.35	3.33	3.84	2.57	3.06	2.33	2.95	3.67	3.33	3.93	2.52
多样性 Diversity ( $H$ )	1.90	2.53	2.67	2.45	2.39	1.71	2.27	2.47	1.57	2.01	2.25	1.88	2.27	1.32	1.93	1.95	2.23	2.47	1.78
均匀度 Evenness ( $J$ )	0.38	0.62	0.63	0.67	0.58	0.45	0.59	0.60	0.47	0.53	0.59	0.55	0.65	0.42	0.55	0.47	0.59	0.63	0.52

经 Hutcheson(1970)  $t$ -检验,只有 1998 年 8 月与 1982 年 5 月,1992 年 8 月与 1998 年 5 月、10 月没有显著差异( $p=0.01$ ),其它年内和年间季节的多样性指数均差异显著。

根据种类在总样品中的数量或重量的比例大小排列,绘制的优势度曲线(Dominance curve,又称之为  $K$ -dominance)广泛应用于群落结构的数据分析(Clarke,1990),它能够较直观地表示群落的种类均匀度和丰度。图 2 为莱州湾不同季节渔业生物量的优势度曲线的变化情况,春、夏、冬 3 季生物量的优势度与多样性指数( $H$ )的变化趋势相反:优势度在春季自 1959 年呈逐年下降的趋势;而在夏、冬季则以 1998~1999 年最高,最高单种所占渔获量分别为 45.5%和 67.7%,1982~1983 年夏、冬季的优势度最低,最高单种所占渔获量分别为 28.8%和 28.9%;秋季除 1959 年优势度较高外,其它 3 个时期差别不大,但 1998 年曲线上升更快。

### 2.4 渔获量组成的相似性

根据 Bray 和 Curtis(1957)的不相似指数公式,计算自 1959 年以来各调查季节的相似性系数(表 3),说明:各年份的春、夏和秋季以尾数表示的资源量和以重量表示的生物量之间相似性较高;在 1959 年与 1982 年夏、秋季及 1992 年夏季生物量之间,1982 年与 1992 年春、夏、秋 3 季之间的资源量和生物量之间相似性较高,不同年份的冬季之间也较高;1992 年春、夏和秋

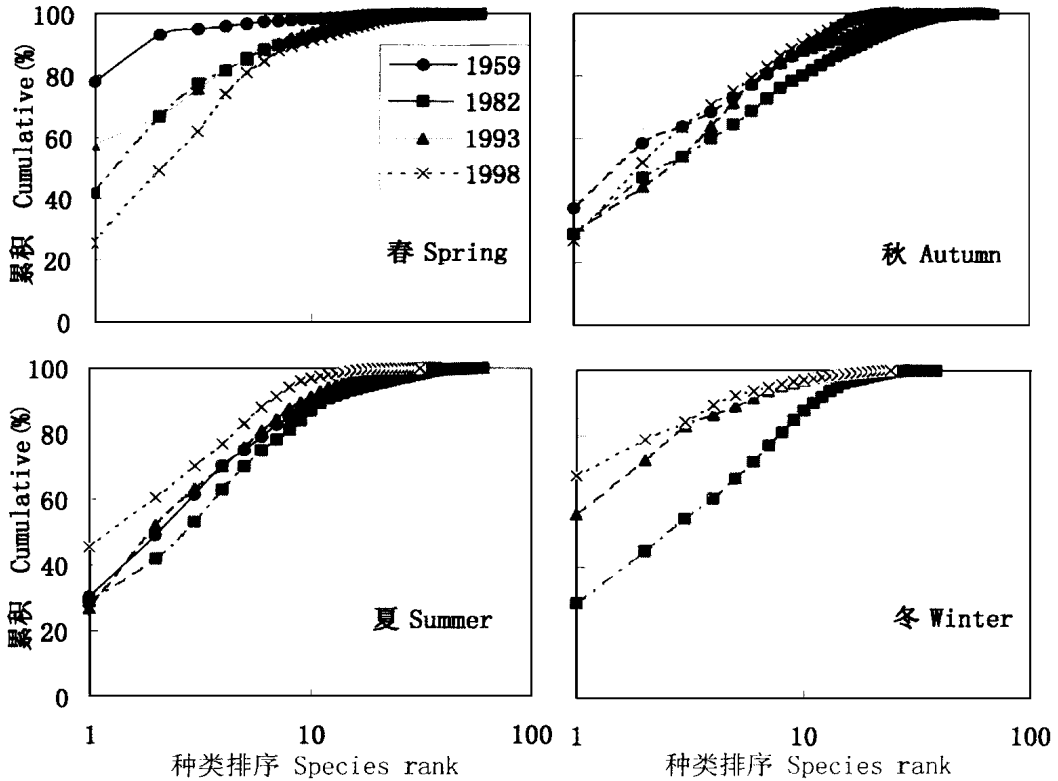


图2 莱州湾渔业生物量优势度曲线(种类排序是根据每种鱼渔获量由大到小排列累积百分数为种类占渔获量百分数的累加值)

Fig.2 K-dominance curves by weight in the Laizhou Bay

表3 莱州湾渔获物组成相似性指数

Table 3 The similarity index of species composition between seasons in the Laizhou Bay

年 Year	月 Month	1959年(Year)			1982~1983年(Year)				1992~1993年(Year)				1998~1999年(a)			
		5月 May	8月 Aug.	10月 Oct.	5月 May	8月 Aug.	10月 Oct.	2月 Feb.	5月 May	8月 Aug.	10月 Oct.	2月 Feb.	5月 May	8月 Aug.	10月 Oct.	2月 Feb.
1959	5	1959年无调查尾数数据 No data available in 1959														
	8	0.36														
	10	0.39	0.60													
以尾数计 By number of individuals																
1982~ 1983	5	0.02	0.20	0.12		0.33	0.34	0.07	0.58	0.26	0.58	0.01	0.04	0.04	0.18	0.005
	8	0.08	0.45	0.20	0.32		0.50	0.03	0.14	0.32	0.38	0.002	0.05	0.04	0.15	0.002
	10	0.05	0.37	0.22	0.32	0.60		0.04	0.17	0.33	0.43	0.01	0.02	0.04	0.15	0.002
1992~ 1993	2	0.02	0.06	0.05	0.07	0.05	0.05		0.03	0.02	0.03	0.20	0.10	0.01	0.04	0.09
	5	0.01	0.05	0.04	0.29	0.16	0.14	0.04		0.33	0.51	0.01	0.12	0.08	0.19	0.004
	8	0.04	0.29	0.15	0.15	0.46	0.47	0.06	0.28		0.49	0.02	0.15	0.08	0.39	0.004
1998~ 1999	10	0.04	0.25	0.12	0.41	0.46	0.44	0.07	0.46	0.49		0.01	0.06	0.04	0.19	0.001
	2	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.35	0.04	0.05	0.03		0.11	0.01	0.01	0.34
	5	0.002	0.01	0.01	0.04	0.07	0.05	0.04	0.18	0.12	0.07	0.02		0.30	0.24	0.06
1998~ 1999	8	0.01	0.02	0.01	0.03	0.09	0.07	0.01	0.13	0.09	0.05	0.004	0.34		0.23	0.03
	10	0.02	0.11	0.08	0.10	0.16	0.17	0.14	0.24	0.31	0.22	0.02	0.24	0.29		0.01
	2	0.00	0.00	0.00	0.001	0.01	0.001	0.04	0.003	0.002	0.002	0.23	0.01	0.005	0.005	

以重量计 By biomass

季与 1998 年秋季之间生物量之间相似性较高;其它季节之间的资源量和生物量之间的相似性都很低。从图 3 的季节间生物量相关系数可以较清楚地看出,1959 年与其它年份的相关性很低,而冬季之间,特别是 1983 和 1993 年间的相关性较高。1998 年夏季与其它季节间的相关性较差。

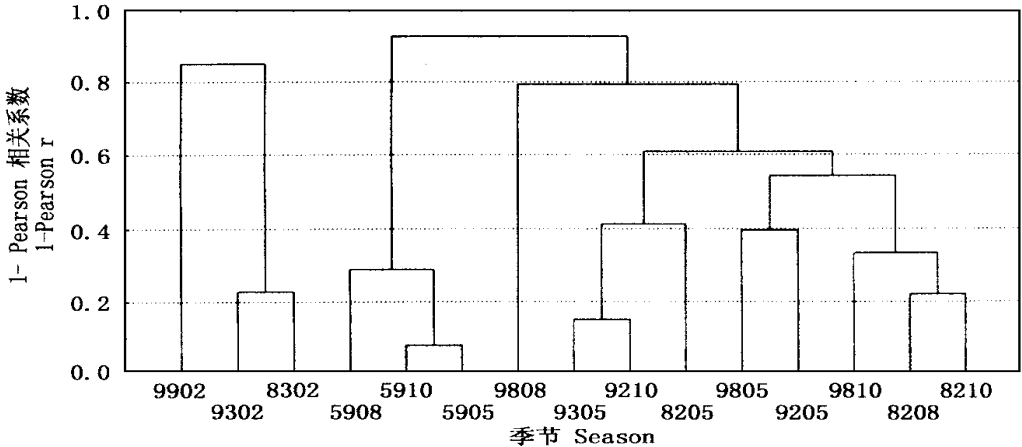


图 3 莱州湾渔业种类生物量组成的季节之间的相关性

Fig. 3 The correlation of biomass composition between seasons in the Laizhou Bay  
注:横坐标的每 4 个数字中前 2 位数字示年份,后 2 位数字示月份(季节)

### 3 讨论

#### 3.1 渔业资源优势种的更替

40 年来,莱州湾因为过度捕捞引起的主要经济鱼类特别是优势种的更替十分明显。1959 年春季带鱼和小黄鱼的生殖群体在底拖网调查渔获物组成中占据优势(表 1),达到 93.6%。在随后的 20 余年,随着渤海秋汛对虾底拖网渔业的兴起与迅速发展,兼捕了大量的小黄鱼和带鱼等底层鱼类的幼鱼,导致莱州湾主要经济底层鱼类资源量急剧衰退。1982 年带鱼几近绝迹,小黄鱼明显早熟和低龄化。个体较大、营养层次较高的带鱼和小黄鱼等优势种群逐步为黄鲫、鳀鱼、赤鼻稜鳀等个体小、营养层次低的小型中上层鱼类所替代。近 20 年来,莱州湾渔业资源的优势种变化不大,但渔获量却呈大幅度下降趋势,特别是鳀鱼。由于黄海渔业资源的变动直接影响到春季进入渤海的生殖群体以及后来的补充群体的数量和分布,因此近 10 年来,在黄海捕捞鳀鱼强度的不断加大,使鳀鱼群体结构趋于简单化,渔业生产主要依赖补充群体。生殖群体数量的减少是导致渤海鳀鱼生物量减少的直接原因。目前莱州湾渔业资源的主要优势种群,按黄鲫 鳀鱼 赤鼻稜鳀顺序朝着更加小型化的方向演替。

通过对莱州湾初级生产力近 20 年来的动态特点分析,莱州湾富营养化进程并不明显。根据同步进行的浮游生物调查,1998~1999 年的浮游植物比 1992~1993 年下降了 6 倍多,原因是以浮游植物为食的浮游动物的生物量达到历年调查中的最高值,比 1992~1993 年同期增加了约 6 倍。而造成浮游动物增加的原因则是以浮游动物为食的鳀鱼和黄鲫等小型中上层鱼类,在 1992~1993 年间的生物量大幅度下降。小型中上层鱼类又是多种大型鱼类(如蓝点马鲛)的捕食对象(邓景耀等,1988),因小型中上层鱼类的生物量大幅度下降,使蓝点马鲛的食物不足,这可能是造成 1998 年蓝点马鲛个体偏小、生长状况不佳的重要原因。

#### 3.2 渔业资源群落结构的年间变化

近 20 年来,莱州湾渔业种类的丰度和多样性指数的年间变化较大,资源量的年间变化尤

其剧烈。多样性是群落结构的一个方面,稳定性是群落功能的一个方面(Washington, 1984)。多数自然群落处于非平衡状态,竞争性平衡被一些因子所阻止,如生物资源量的周期性降低、死亡、物理环境和生物环境变动等(Huston, 1979)。在使竞争种类生长率提高的条件下,获胜种类的优势度增加,群落多样性将下降;在竞争种类生长率降低的条件下,获胜种类的优势度降低,群落多样性将保持或增加。当扰动为中等强度时多样性最高,当扰动处于两极时则较低(Washington, 1984; Connell, 1978)。这是由于当扰动频率增加将使群落远离平衡,多样性增加;而如果扰动频率非常高使种群难以恢复,那么多样性将下降(Huston, 1979)。

莱州湾渔业种类在1959年主要为小黄鱼和带鱼,产量很高(图2),当时的捕捞强度较低,多样性较低,群落较稳定。随着捕捞强度的增加,多样性随着增加。但近年来过高的捕捞强度又使多样性下降。渔业资源群落结构的持续性和稳定性呈现逐年降低和减弱的趋势。为了保护 and 恢复渤海的底层渔业资源,从1988年秋季开始,底拖网全部退出渤海。采取这项有力的管理措施10余年来,并未扼制莱州湾渔业资源严重衰退的趋势,像小黄鱼这类生命周期较长、对捕捞和环境扰动承受力较强和恢复力较弱的种群,资源一旦遭到破坏,需要较长时间才能够得到恢复。鲮鱼和黄鲫等为生命周期较短的小型中上层鱼类,对捕捞和环境扰动承受力较弱,但资源的恢复力较强。因此,在外界扰动减弱的情况下,这些小型中上层种类资源量可以得到较快的恢复和增长。

## 参 考 文 献

- 邓景耀,孟田湘,任胜民,1988a. 渤海鱼类的食物关系. 海洋水产研究, **9**:151~171
- 邓景耀,孟田湘,任胜民,邱显寅,朱建元,1988b. 渤海鱼类种类组成及数量分布. 海洋水产研究, **9**:11~89
- 金显仕,唐启升,1998. 渤海渔业资源结构、数量分布及其变化. 中国水产科学, **5**(3): 18~24
- Bray T R, Curtis J T, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, **27**:325~349
- Clarke K R, 1990. Comparisons of dominance curves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **138**: 143~157
- Connell J H, 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, **199**:1302~1310
- Connell J H, Sousa W P, 1983. On the evidence needed to judge ecological stability or persistence. *The American Naturalist*, **121**(6): 789~824
- Huston M, 1979. A general hypothesis of species diversity. *The American Naturalist*, **113**:81~101
- Hutcheson K, 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Journal of Theoretical Biology*, **29**:151~154
- Ludwig J A, Reynolds J. F, 1988. *Statistical Ecology*. John Wiley & Sons
- Washington H G, 1984. Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, **18**(6): 653~694
- Wilhm J L, 1968. Use of biomass units in Shannon's formula. *Ecology*, **49**:153~156

(本文责任编辑:王美林)