

渤海主要渔业资源结构的演变分析

许思思^{1,2}, 宋金明¹, 段丽琴^{1,2}, 吴晓丹^{1,2}, 徐亚岩^{1,2}

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过对现有资料的系统分析, 简化了渤海生态系统食物网, 并剖析了近 50 年来渤海主要渔业资源结构的变化特征, 这对进一步阐明渤海生态系统动力学的变化特征以及研究渔业资源衰退的原因有重要的科学意义。研究表明, 渤海主要鱼类可聚为 4 类: 游泳动物食性鱼类、底栖动物食性鱼类、浮游动物食性鱼类和腐屑食性鱼类, 在此基础上渤海生态系统食物网可简化为 3 条食物链: 浮游植物→浮游动物→浮游动物食性鱼类→游泳动物食性鱼类(第一条食物链); 浮游植物和碎屑→底栖动物→底栖动物食性鱼类和头足类→游泳动物食性鱼类(第二条食物链); 碎屑→腐屑食性鱼类(第三条食物链)。20 世纪 50 年代末以来, 第一条食物链渔业资源已取代第二条食物链渔业资源成为最主要的渔业资源, 第三条食物链渔业资源生物量百分比呈上升趋势, 近年来已成为继第一条食物链渔业资源的第二大渔业资源。渔业捕捞、渤海次级生产力结构的变化以及各渔业资源生物自身生长和繁殖特点的不同是导致渤海主要渔业资源结构变化的重要因素。

关键词: 渔业资源; 食物链; 渤海

中图分类号: Q178.14

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)06-0059-07

渤海在中国海洋渔业生产中的地位非常重要, 其渔业捕捞量约占黄、渤海渔业捕捞总量的 28%~40%。近几十年来渤海渔业资源严重衰退, 小型化、低龄化趋势严重。这严重影响了环渤海地区社会和经济的可持续发展。人类活动和气候变化等因素均可导致渔业资源的衰退。这些因素不仅直接对渔业资源产生影响, 而且通过影响其捕食者和食物, 对渔业资源生物产生间接的影响。因此, 有必要从食物链的角度对渔业资源的变化进行分析。

另一方面, 渤海生态系统生物种类繁多, 食物网错综复杂, 这对从食物链结构角度研究渔业资源衰退造成了很多不便。为进一步揭示渤海渔业资源衰退的特点及原因, 应对渤海生态系统复杂的食物网进行简化, 而对鱼类等高营养级捕食者的简化是其关键所在。孟田湘^[1]在把饵料生物简化为浮游动物、底栖动物和游泳动物的基础上, 将渤海 34 种鱼类简化为 5 种食性鱼类。但该过程需要大量的分类和计算工作, 并且该研究也没有把带鱼(*Trichiurus lepturus*)和斑鲆(*Clupanodon punctatus*)等优势种包括在内。聚类分析法因其应用简便、结果简洁明了, 且显著减少了因依靠人们经验来分类的不确定性, 因此广泛应用于分类问题研究中^[2-4]。然而目前尚未见其应用于渤海渔业资源生物的聚类简化研究中。作

者运用聚类分析方法对 20 世纪 50 年代末以来渤海鱼类优势种进行了简化, 在此基础上简化了渤海食物网, 并研究了渤海主要渔业资源结构的演变特征, 以期探讨渔业资源衰退的原因, 促进环渤海地区人与海洋的可持续发展。

1 材料与方 法

渤海 50 余种鱼类胃含物内各饵料生物的质量百分比源于杨纪明^[5]对渤海主要鱼类食性的研究, 其中, 带鱼胃含物内各饵料生物的质量百分比源于张波等^[6]对黄海带鱼食性的研究。1959、1982、1992 和 1998 年渤海和莱州湾主要渔业资源生物及其生物量百分比引自中国水产科学院黄海水产研究所相应年份 4 个季度(2、5、8 和 10 月)的拖网调查资料^[1, 7]。底栖生物资料源于孙道元等^[8]、程济生等^[9]和韩洁等^[10]的研究。

收稿日期: 2009-09-24; 修回日期: 2009-12-02

基金项目: 国家重点基础研究 973 项目课题(2007CB407305); 国家自然科学基金委创新研究群体科学基金资助项目(40821004)

作者简介: 许思思(1985-), 女, 山东巨野人, 在读博士研究生, 主要从事海洋环境生物地球化学研究, E-mail: xusisi@ms.qdio.ac.cn; 宋金明, 通信作者, 研究员, 主要从事环境海洋学和海洋生物地球化学研究, E-mail: jmsong@ms.qdio.ac.cn

2 结果与讨论

2.1 渤海鱼类聚类分析

渤海是多种鱼虾蟹类栖息、索饵和繁殖的优良水域,集中于该海域的鱼类达到 100 余种,食物网错综复杂。孟田湘^[1]根据各饵料生物在鱼类食谱中的相对重要性指标,把渤海 34 种鱼类划为 5 种类型,这在一定程度上简化了鱼类群落。然此 34 种鱼类并不包括带鱼和斑鲈等优势种,并且该结果只是根据各饵料生物的相对重要性指标所做的大致分类,不确定性较大。本研究选取渤海 53 种主要鱼类,根据其胃含物内各饵料生物的质量百分比,运用 SPSS 软件对其进行聚类分析,以简化渤海生态系统食物网。

结果表明,通过聚类分析可将渤海 53 种主要鱼类简划为 4 类,如图 1 所示。第一类主要捕食游泳动物,包括尖嘴扁颌针鱼(*Ablennes anastomella*)、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)、油鲚(*Sphyraena pinguis*)、黄鲛鲛(*Lophius litulon*)、鲷鱼(*Ilisha elongata*)、带鱼、花鲈(*Lateolabrax japonicus*)、黑鲷(*Sebastes fuscescens*)、长蛇鲻(*Saurida elongata*)、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)、美鲷(*Raja pulchra*)、海鳗(*Muraenesox cinereus*)和鲈(*Miichthys miui*)等,为游泳动物食性鱼类;第二类主要捕食底栖动物,包括棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)、真鲷(*Pagrosomus major*)、高眼鲷(*Cleisthenes herzensteini*)、孔鲷(*Raja porosa*)、鲷(*Platycephalus indicus*)、矛尾复鰕虎鱼(*Synechogobius hasta*)、星鲷(*Verasper variegatus*)、白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)、黄姑鱼(*Nibea albi-flora*)、绿鳍鱼(*Chelidonichthys kumu*)、半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis*)、矛尾鰕虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、焦氏舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)、六丝矛尾鰕虎鱼(*Chaeturichthys hexanema*)、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、长绵鲷(*Enchelyopus elongatus*)、虫纹东方鲀(*Takifugu vermicularis*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)、菊黄东方鲀(*Takifugu flavidus*)、石鲷(*Kareius bicoloratus*)、多鳞鲷(*Sillago sihama*)、钝吻黄盖鲷(*Pseudopleuronectes yokohamae*)、短鳍鲷(*Callionymus kitaharae*)、短吻三刺鲀(*Triacanthus brevirostris*)、鲱鲷(*Callionymus beniteguri*)和绿鳍马面鲀(*Navodon septentrionalis*)等,为底栖动物食性鱼类;第三类主要捕食浮游动物,包括鳀鱼(*Engraulis japonicus*)、黄鲫(*Setipinna taty*)、

凤鲚(*Coilia mystus*)、黑鳃梅童(*Collichthys niveatus*)、青鳞鱼(*Harengula zunasi*)、刀鲚(*Coilia ectenes*)、沟鲈(*Atropus atropus*)、赤鼻棱鲷(*Thryssa kammalensis*)、细条天竺鱼(*Apogonichthys lineatus*)、银鲳(*Pampus argenteus*)和方氏云鲷(*Enedrias fangi*)等,为浮游动物食性鱼类;第四类主要营碎屑食性,包括斑鲈和梭鱼(*Liza haematocheila*),为腐屑食性鱼类。

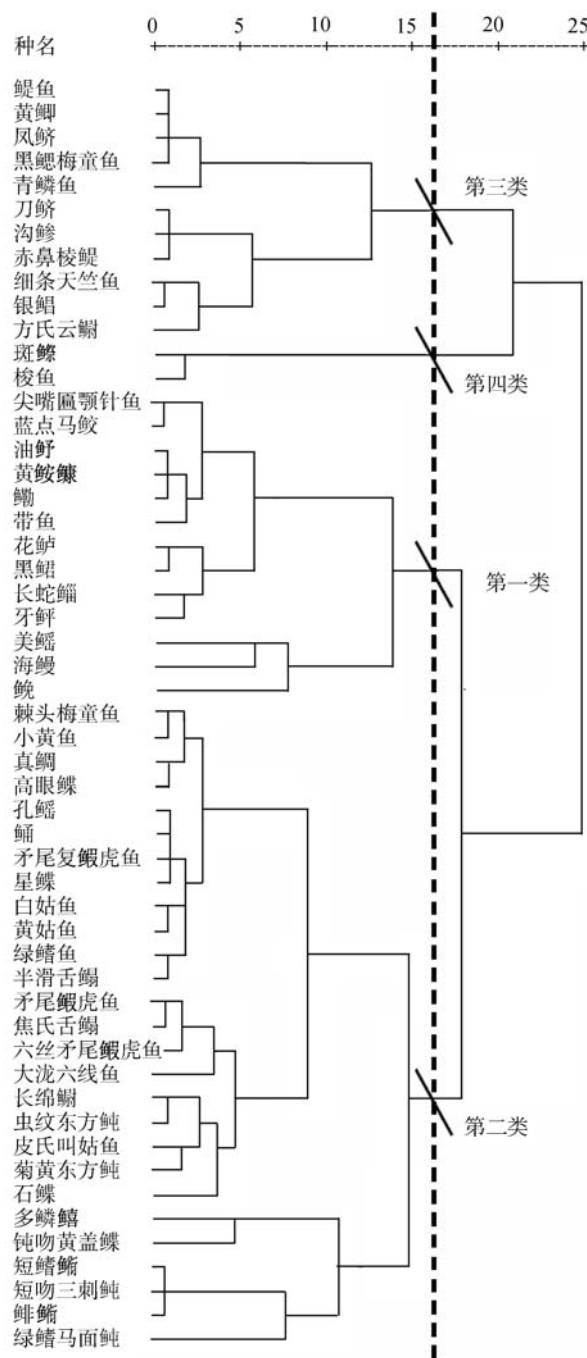


图 1 渤海主要鱼类聚类分析

Fig. 1 Classification analysis of primary fishes in the Bohai Sea

孟田湘^[1]将 34 种鱼类划分为“浮游动物食性鱼类”、“底栖动物食性鱼类”、“游泳动物食性鱼类”、“浮游、底栖、游泳动物食性鱼类”和“底栖和游泳动物食性鱼类”，而作者将 53 种鱼类划分为浮游动物食性鱼类、底栖动物食性鱼类、游泳动物食性鱼类和腐屑食性鱼类。与孟田湘的研究相比，作者不仅将其没有更进一步明确归类的“浮游、底栖、游泳动物食性鱼类”和“底栖和游泳动物食性鱼类”归入至浮游动物食性鱼类或底栖动物食性鱼类或游泳动物食性鱼类中，而且作者研究的鱼类种类更为全面，研究结果更为直接明了，显著降低了根据人们经验划分的不确定性，并且通过聚类分析，将腐屑食性鱼类作为一个单独类群与其他类群分离开来，从而更有利于分析渔业资源的衰退特征及其原因。

2.2 渤海简化食物网

在对主要鱼类聚类分析的基础上，作者对渤海食物网进行了简化。对渤海食物网简化时的一个重要原则是仅考虑其主要捕食者和主要被捕食者，忽略与其有次要食物联系的生物，并按照营养级从高到低的顺序，分别绘制每条食物链。在渤海生态系统中，主要渔业资源除有游泳动物食性鱼类、底栖动物食性鱼类、浮游动物食性鱼类和腐屑食性鱼类外，还有头足类和虾蟹类。其中，如上文所述，游泳动物食性鱼类主要捕食浮游动物食性鱼类、底栖动物食性鱼类和虾蟹类等游泳动物；底栖动物食性鱼类主要捕食虾蟹类等底栖大型甲壳类；浮游动物食性鱼类主要捕食浮游动物；腐屑食性鱼类主要吃有机碎屑。头足类主要捕食虾蟹类，以火枪乌贼(*Loligo beka*)和双喙耳乌贼(*Sepiolo birostrata*)为例，虾蟹类在其胃含物中的质量百分比分别高达 64%和 74%^[11]；虾蟹类等底栖大型甲壳类主要捕食小型底栖动物，以中国对虾(*Penaeus chinensis*)和三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)为例，小型底栖甲壳类和双壳类在对虾所摄入食物中的质量百分比高达 74%，双壳类在三疣梭子蟹所摄入食物中的质量百分比高达 67%^[11]。小型底栖生物，如底栖软体类和底栖多毛类等主要捕食浮游植物和碎屑，以底栖软体类中的双壳类为例，浮游植物和碎屑在其食物中的质量百分比高达 70%以上^[12]，底栖多毛类的食物几乎全部为碎屑^[13]。浮游动物主要捕食浮游植物，以中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)和墨氏胸刺水蚤(*Centropages mcmurrici*)等桡足类为例，硅藻类在其食物中的质

量百分比高达 94.6%和 97.2%^[14]。将以上食物联系逐级绘制成图，可得渤海简化食物网(图 2)。

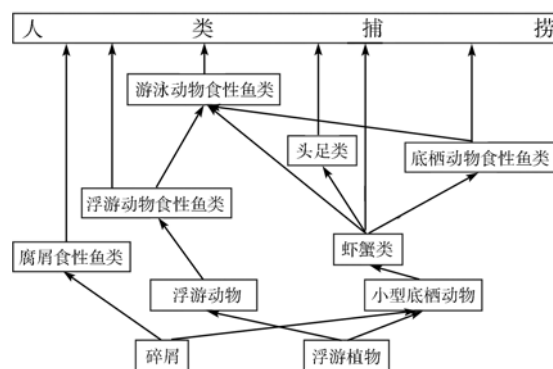


图 2 渤海生态系统简化食物网
Fig. 2 Simplified food web of the Bohai Sea ecosystem

简化后渤海食物网主要有 3 条食物链，一条主要起始于浮游植物，一条起始于浮游植物和碎屑，一条主要起始于碎屑。3 条食物链分别为：(1) 浮游植物→浮游动物→浮游动物食性鱼类→游泳动物食性鱼类，称为第一条食物链；(2) 浮游植物和碎屑→底栖动物→底栖动物食性鱼类和头足类→游泳动物食性鱼类，称为第二条食物链；(3) 碎屑→腐屑食性鱼类，称为第三条食物链。这三条食物链的顶级捕食者均为人类。

2.3 主要渔业资源结构的变化

20 世纪 50 年代末以来渤海主要渔业资源组成发生了很大变化。按生物量百分比从高到低的顺序^[7]，1959 年主要渔业资源依次为小黄鱼、带鱼、中国对虾、黄鲫和孔鳐，它们占渔业资源总生物量的 82.5%；1982 年主要渔业资源依次为黄鲫、火枪乌贼、鳀鱼、小黄鱼、蓝点马鲛、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、花鲈、孔鳐、黄姑鱼、青鳞鱼、银鲳、白姑鱼、黑鳃梅童鱼、鹰爪虾(*Trachypenaeus curvirostris*)和曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)等，它们占渔业资源总生物量的 82.1%；1992 年主要渔业资源依次为鳀鱼、黄鲫、斑鲆、小黄鱼、口虾蛄、火枪乌贼、三疣梭子蟹、花鲈、赤鼻棱鳀和孔鳐等，它们占渔业资源总生物量的 82.5%；1998 年主要渔业资源依次为斑鲆、黄鲫、银鲳、蓝点马鲛、口虾蛄、三疣梭子蟹、赤鼻棱鳀和小黄鱼等，它们占渔业资源总生物量的 81.0%。

根据对主要鱼类的聚类分析结果和渤海简化食物网，以上主要渔业资源中，小黄鱼、孔鳐、黄姑鱼

和白姑鱼等为底栖动物食性鱼类,属于第二条食物链;中国对虾、口虾蛄、鹰爪虾、三疣梭子蟹、火枪乌贼和曼氏无针乌贼等均为底栖动物或营底栖动物食性,也属于第二条食物链;黄鲫、鲢鱼、青鳞鱼、银鲳、黑鳃梅童鱼和赤鼻棱鲁等为浮游动物食性鱼类,属于第一条食物链;斑鲚为腐屑食性鱼类,属于第三条食物链。带鱼、蓝点马鲛和花鲈为游泳动物食性鱼类。根据聚类分析所用的各饵料生物的质量百分比,蓝点马鲛主要捕食浮游动物食性鱼类,带鱼和花鲈等一半左右的食物来自第一条食物链,另外约一半的食物来自第二条食物链。因此,将蓝点马鲛归入第一条食物链,而将带鱼和花鲈一半的生物量归入第一条食物链,另一半的生物量归入第二条食物链。

1959~1998年,这3条食物链渔业资源结构变化显著。如表1所示,第二条食物链在主要渔业资源中的生物量百分比由20世纪50年代末的77%下降至20世纪90年代末的23%。第一条食物链渔业资源生物量百分比在20世纪50年代末处于第二位,至20世纪90年代其已取代第二条食物链渔业资源,成为渤海最主要的渔业资源。第三条食物链渔业资源在20世纪50年代末基本不形成优势,但20世纪90年代末已占渔业资源总生物量30%,成为继第一条食物链渔业资源之后的第二大类渔业资源。

表1 渤海不同食物链主要渔业资源的生物量百分比
Tab. 1 Percentages of biomass contributed by major resources of different food chains in the Bohai Sea

年份	生物量百分比(%)		
	第一条食物链	第二条食物链	第三条食物链
1959	23	77	0
1982	48	52	0
1992	56	34	10
1998	52	18	30

不同季节和不同尺度海域,渤海主要渔业资源结构的变化也体现为第二条食物链渔业资源的衰退以及第一条食物链和第三条食物链的兴起。对莱州湾春季和秋季渔业资源前5种优势种的食物链结构的分析表明,1959年至1998年莱州湾春季和秋季前5种渔业资源优势种的食物链结构的变化(表2)与渤海主要渔业资源食物链结构的变化基本相同:1959、1982至1992年第二条食物链渔业资源逐步衰退,第

一条食物链渔业资源生物量逐步成为最主要的渔业资源;自1959年至1998年,第三条食物链渔业资源生物量百分比逐步上升,其在1998年秋季已成为渤海第二大类渔业资源;与1992年相比,1998年第一条食物链渔业资源生物量百分比都有所下降,但仍为第一大渔业资源。莱州湾渔业资源结构的变化与渤海不同的是,与1992年相比,1998年莱州湾第二条食物链渔业资源生物量百分比有所上升,而渤海有所下降,这主要是由于1998年春季和秋季莱州湾口虾蛄和三疣梭子蟹较高的生物量百分比所致。与带鱼、小黄鱼和对虾等1959年第二条食物链的主要贡献者相比,口虾蛄和三疣梭子蟹的渔业资源价值相对较低,这也是第二条食物链渔业资源衰退的重要体现。

表2 莱州湾不同食物链渔业资源优势种(前5种)的生物量百分比
Tab. 2 Percentages of biomass contributed by the top five predominant fishery species of different food the Laizhou Bay

季节	年份	生物量百分比(%)		
		第一条食物链	第二条食物链	第三条食物链
春季	1959	39.10	57.90	0.00
	1982	73.20	12.50	0.00
	1992	77.40	9.20	2.30
	1998	50.50	23.70	6.70
秋季	1959	18.70	54.50	0.00
	1982	24.20	40.50	0.00
	1992	39.60	17.10	14.70
	1998	30.70	19.40	25.20

1959~1998年渤海高营养级渔业资源生物逐步衰退,低营养级渔业资源生物逐步兴起。如表3所示,渤海主要渔业资源生物中,蓝点马鲛、花鲈、带鱼、小黄鱼、黄姑鱼、白姑鱼、孔鲷、火枪乌贼和曼氏无针乌贼等具有较高的营养级(>4),将其划入为高营养级渔业资源生物;黄鲫、鲢鱼、青鳞鱼、银鲳、黑鳃梅童鱼、赤鼻棱鲁、中国对虾、口虾蛄、鹰爪虾、三疣梭子蟹和斑鲚等具有较低的营养级(<4),将其划入为低营养级渔业资源生物。1959~1998年,高营养级渔业资源的生物量百分比呈现逐步下降趋势,由1959年的77%下降至1998年的15%;低营养级渔业资源生物的生物量百分比呈现逐步上升趋势,由1959年的23%上升至1998年的85%,这反映了渤海主要渔业资源结构由高营养级渔业资源生物为主逐步变为以低营养级渔业资源生物为主。

表 3 渤海主要渔业资源生物的营养级

Tab. 3 Trophic levels of primary fishery species of the Bohai Sea

生物种名	营养级	参考文献	生物种名	营养级	参考文献
蓝点马鲛	4.6	[5]	鲢鱼	3.6	[5]
花鲈	4.7	[5]	青鳞鱼	3.4	[5]
带鱼	4.5	[15]	银鲳	3.6	[5]
小黄鱼	4.3	[5]	黑鳃梅童鱼	3.7	[5]
孔鳐	4.4	[5]	赤鼻棱鳀	3.2	[5]
黄姑鱼	4.5	[5]	中国对虾	3.5	[11]
白姑鱼	4.4	[5]	口虾蛄	3.7	[11]
火枪乌贼	4.1	[11]	鹰爪虾	3.4	[11]
曼氏无针乌贼	4.2	[11]	三疣梭子蟹	3.2	[11]
黄鲫	3.6	[5]	斑鲆	2.4	[5]

表 4 渤海不同营养级主要渔业资源生物的生物量百分比

Tab. 4 Percentages of biomass contributed by major fishery resources of different trophic levels in the Bohai Sea

年份	生物量百分比(%)	
	高营养级	低营养级
1959	77	23
1982	40	60
1992	24	76
1998	15	85

渔业捕捞是导致渤海第二条食物链衰退的重要因素。一方面, 渔业捕捞通过移除底栖动物食性鱼类、底栖甲壳类和头足类, 直接导致了其资源量的下降; 另一方面, 对底栖甲壳类的捕捞进一步减少了底栖动物食性鱼类、游泳动物食性鱼类和头足类等渔业资源种类的食物来源, 从而间接地对第二条食物链渔业资源生物的生长和繁殖造成不利影响。虽然渔业捕捞也移除了第一条食物链和第三条食物链的大量渔业资源, 但其捕食者同时也被大量捕捞, 从而降低了第一条食物链和第三条食物链渔业资源生物的被捕食压力, 间接地促进了其生物量百分比的相对增加。而且与第二条食物链的生物相比, 第一条食物链和第三条食物链的生物个体较小, 繁殖能力比较强^[1], 在面临外界压力的胁迫时, 在竞争中更有优势。这也是第一条食物链和第三条食物链相对兴起的重要原因。

渤海生态系统次级生产力结构的变化也是导致渤海主要渔业资源结构变化的重要因素。底栖动物和浮游动物是渤海次级生产力的重要组成部分。渤海底栖动物主要包括底栖甲壳类、底栖软体类、底

栖多毛类和底栖棘皮类等, 其中底栖甲壳类和底栖软体类是支撑第二条食物链渔业资源生物的主要饵料。20 世纪 80 年代以来, 虽然底栖动物的总生物量有所增加, 但底栖甲壳类和底栖软体类的生物量却持续下降(图 3), 底栖甲壳类和底栖软体类生物量之和与浮游动物生物量的比值也持续下降。自 1982、1992 至 1998 年, 渤海底栖甲壳类和底栖软体类的生物量之和与浮游动物生物量的比值由 0.29、0.24, 下降至 0.03, 反映了浮游动物在渤海次级生产力结构中重要性的增加。这必然对第二条食物链渔业资源量和第一条食物链渔业资源量的相对比例产生重要影响, 并进而导致渤海主要渔业资源结构的变化。

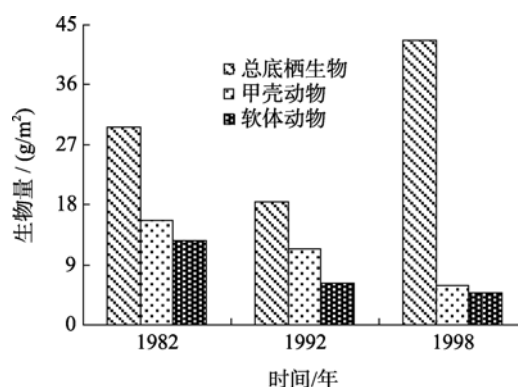


图 3 1982、1992 和 1998 年渤海底栖动物的生物量

Fig. 3 Biomass of the benthos in the Bohai Sea in 1982, 1992, and 1998

3 结论

通过聚类分析, 渤海 53 种鱼类可成功地被简化为游泳动物食性鱼类、底栖动物食性鱼类、浮游动

肉食性鱼类和腐屑食性鱼类。在此基础上,渤海生态系统食物网可进而被简化为第一条食物链(浮游植物→浮游动物→浮游动物食性鱼类→游泳动物食性鱼类)、第二条食物链(浮游植物和碎屑→底栖动物→底栖动物食性鱼类和头足类→游泳动物食性鱼类)和第三条食物链(碎屑→腐屑食性鱼类)。20世纪50年代末以来,渤海第三条食物链渔业资源生物的生物量百分比呈现持续上升趋势,至20世纪90年代末其已成为渤海第二大类渔业资源;而第二条食物链渔业资源持续衰退,20世纪90年代其主导地位已被第一条食物链渔业资源所代替。渔业捕捞、渤海次级生产力结构的变化以及各渔业资源生物自身生长和繁殖特点的不同是导致渤海主要渔业资源结构变化的重要因素。

参考文献:

- [1] 孟田湘. 渤海食物网营养动力学及资源优势种交替: 食物关系与食物网[A]. 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[C]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 王国庆, 石学法, 刘焱光, 等. 长江口南支沉积物元素地球化学分区与环境指示意义[J]. 海洋科学进展, 2007, 25(2): 408-418.
- [3] 李玉中, 陈沈良. 系统聚类分析在现代沉积环境划分中的应用[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 487-494.
- [4] 许河峰. 应用聚类分析评价珠江口翡翠贻贝和环境水域有机氯农药与多氯联苯污染情况[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(2): 40-44.
- [5] 杨纪明. 渤海鱼类的食性和营养级研究[J]. 现代渔业信息, 2001, 16(10): 10-19.
- [6] 张波. 东、黄海带鱼的摄食习性及随发育的变化[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(2): 6-12.
- [7] Tang Q S, Jin X S, Wang J, *et al.* Decadal-scale variations of ecosystem productivity and control mechanisms in the Bohai Sea[J]. *Fisheries Oceanography*, 2003, 12(4/5): 223-233.
- [8] 孙道元, 刘银城. 渤海底栖动物种类组成和数量分布[J]. 黄渤海海洋, 1991, 9(1): 42-50.
- [9] 程济生, 郭学武. 渤海底栖生物的种类、数量分布及其动态变化[J]. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 31-42.
- [10] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海大型底栖动物丰度和生物量的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(6): 889-896.
- [11] 杨纪明. 渤海无脊椎动物的食性和营养级研究[J]. 现代渔业信息, 2001, 16(9): 8-16.
- [12] Zetina-Rejón M J, Arreguín-Sánchez F, Chávez E A. Trophic structure and flows of energy in the Hui-zache-Caimanero lagoon complex on the Pacific coast of Mexico[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 57(5-6): 803-815.
- [13] Coll M, Santojanni A, Palomera I, *et al.* An ecological model of the Northern and Central Adriatic Sea: Analysis of ecosystem structure and fishing impacts[J]. *Journal of Marine Systems*, 2007, 67(1-2): 119-154.
- [14] 杨纪明. 渤海桡足类(Copepoda)的食性和营养级研究[J]. 现代渔业信息, 2001, 16(6): 6-10.
- [15] 张波, 唐启升. 渤、黄、东海高营养层次重要生物源种类的营养级研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(4): 393-404.

Structural changes of major fishery resources in the Bohai Sea

XU Si-si^{1,2}, SONG Jin-ming¹, DUAN Li-qin^{1,2}, WU Xiao-dan^{1,2}, XU Ya-yan^{1,2}

(1. Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Sep., 24, 2009

Key words: fishery resources; food chain; the Bohai Sea

Abstract: Based on the integrated historical data in the last 50 years, we simplified the food web in the Bohai Sea ecosystem, and analyzed the structural changes of the major fishery resources in the Bohai Sea, which was of scientific significance for further elucidating the dynamics of the Bohai Sea ecosystem in light of the decline of fishery and the reasons leading to such decline. The primary fishes in the Bohai Sea could be classified into four types: nektonic fish, benthivorous fish, zooplanktivorous fish, and detritivorous fish. Based on this classification, the Bohai Sea ecosystem could be simplified into three major food chains: phytoplankton→zooplankton→zooplanktivorous

fish→nektivore fish (the first food chain), phytoplankton and detritus → benthos→benthivorous fish and cephalopod →nektivore fish (the second food chain), and detritus→detrivorous fish (the third food chain). Fisheries in the first food chain had replaced those in the second food chain and became the first primary fisheries in the Bohai Sea since late 1950s. Percentage of biomass made up by fisheries in the third food chain increased continuously and became the second primary fisheries in the Bohai Sea in recent years. Fishing activities, change of the structure of secondary production, and the characteristics of the growth and reproduction of the fishery species were the important factors influencing the structural changes of major fishery resources in the Bohai Sea.

(本文编辑: 谭雪静)

(上接第 58 页)

Oxidation of phycocyanin by Se() and formation of nano-Se(0)

YANG Fang¹, HUANG Zhi², GUO Zhen-jiang¹, ZHENG Wen-jie¹

(1. Dept. of Chemistry & 2. Dept. of Biotechnology, College of Life Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Received: Oct., 12, 2008

Key words: selenium; *Spirulina platensis*; phycocyanin; spectra; nano

Abstract: Spectra of interaction between Se() and phycocyanin (PC), and red Selenium were explored in this paper. PC with an absorbance ratio of 3.1 (A_{620}/A_{280}) was purified from *Spirulina platensis*. The characteristic absorbance intensity of PC at 620 nm was decreased gradually after SeO_3^{2-} was added, and the intensity decreased with the increases of the concentration and incubation time of Se(). But absorbance at 278 nm and 347 nm was gradually increased. As to fluorescence spectra of PC, both emission peak and excitation peak were decreased. Furthermore, the phenomenon of red selenium transformation was observed, and the dominant form of Se (0) was nano selenium as determined by TEM. These results suggested that PC might be a target of SeO_3^{2-} . Se() had oxidative stress to PC and Se() was reduced to red nano selenium.

(本文编辑: 张培新)