

桑沟湾浮游植物种类组成、数量分布及其季节变化

李超伦^{1,2} 张永山^{1,2} 孙松^{1,2} 吴玉霖¹ 方建光³ 张继红³

(¹中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 青岛 266071)

(²中国科学院海洋研究所 胶州湾海洋生态系统国家野外研究站, 青岛 266071)

(³农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要 根据 2006 年 4、7、11 月和 2007 年 1 月 4 个航次的调查数据, 分析了桑沟湾水域浮游植物种类组成、数量分布及其季节变化特征。调查期间共采集浮游植物 28 属 92 种(含变种和型), 主要由硅藻类(74 种)和甲藻类(11 种)组成。优势度指数分析显示, 硅藻是绝对优势种。物种多样性 Shannon-Wiener 指数全湾平均变化范围在 1.91~2.74 之间(春季>夏季>秋季>冬季)。桑沟湾浮游植物的细胞密度及其水平分布格局的季节变化较大, 细胞密度冬季最高(平均为 188.4×10^4 cells/m³), 春季(平均为 63.0×10^4 cells/m³)和秋季(平均为 11.7×10^4 cells/m³)次之, 夏季最低(平均为 9.2×10^4 cells/m³), 冬、夏季数量中心在湾内近岸浅水区, 春、秋季在位于海湾中部的贝藻养殖区。与历史资料对比显示, 经过 20 多年的养殖活动, 桑沟湾浮游植物种类数量下降、优势种发生演变, 湾内海水养殖品种、数量以及养殖模式是影响浮游植物数量及其季节变化的主要因素。

关键词 浮游植物 种类组成 细胞密度 海水养殖 桑沟湾

中图分类号 S967 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2010)04-0001-08

Species composition, density and seasonal variation of phytoplankton in Sanggou Bay, China

LI Chao-lun^{1,2} ZHANG Yong-shan^{1,2} SUN Song^{1,2} WU Yu-lin¹
FANG Jian-guang³ ZHANG Ji-hong³

(¹ Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

(² Jiaozhou Bay National Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

(³ Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT The species composition, density and seasonal variation of phytoplankton in Sanggou Bay were investigated in April, July and November, 2006 and January, 2007. There were 92 species belonging to 28 genera of phytoplankton collected during the surveys, which were mainly composed of diatoms (74 species) and dinoflagellates (11 species). Dominance index analysis indicated that diatoms were the predominant species. Shannon-Wiener index of diversity ranged from 1.91 to 2.74 on seasonal average (Spring > Summer > Autumn > Win-

ter). The phytoplankton densities and their distribution patterns varied in different seasons. The highest density was in winter (188.4×10^4 cells/m³ on average). The densities were 63.0×10^4 and 11.7×10^4 cells/m³ on average in spring and autumn, respectively. The lowest density was in summer (9.2×10^4 cells/m³ on average). For the horizontal distribution patterns, phytoplankton was more abundant in the coastal shallow waters of the bay in winter and summer, whereas the higher densities were found in the shellfish-kelp mixed culture areas which located in the center of the bay. Compared to the historical data, the species quantity and density of the phytoplankton obviously declined in Sanggou Bay after more than 20 years' mariculture. The density of culture species and culture technology had significant influences on the quantity and seasonal distribution of phytoplankton.

KEY WORDS Phytoplankton Species composition Density Mariculture Sanggou Bay

海水养殖业作为人类获取海洋生物资源的主要手段,在其迅速发展的同时,对养殖海区及周边海域生态系统的影响也日趋严重,高密度的养殖往往同水域环境的富营养化、外来种和疾病入侵有密切的关系,单品种规模化养殖会降低物种的多样性,从而导致生态系统自我调节和平衡能力的下降,而养殖环境恶化以及生态系统稳定性的降低反过来会对养殖产业的可持续发展产生严重影响(Olsen 2002)。因此,查明养殖活动与海洋生态系统之间的相互作用机理,建立基于生态系统的健康养殖模式,从而实现养殖活动与生态环境能够稳定、协调发展,是我国海水养殖业面临的重要课题。

浮游植物作为海洋生态系统的初级生产者,其种类组成及数量变动将直接影响到整个生态系统。养殖活动对浮游植物的影响主要表现在以下几个方面:(1)海带等海藻养殖与浮游植物竞争营养盐。(2)贝类等养殖生物会对浮游植物产生巨大的摄食压力,养殖活动产生的生物沉积会影响水体营养盐,进而对浮游植物的生长产生影响等等(Prins *et al.* 1998; McKindsey *et al.* 2006; Petersen *et al.* 2008)。因此,了解养殖生态系统浮游植物的生态特征对于认识养殖活动对海洋生态系统的影响,建立合理的生态养殖模式十分重要。

桑沟湾是我国北方重要的贝藻养殖海湾,大规模海水养殖已经有近30年的历史,养殖品种主要包括海带 *Laminaria japonica*、牡蛎 *Crassostrea gigas* 和栉孔扇贝 *Chlamys farreri* 等,是开展筏式养殖活动对海洋生态系统影响研究的理想场所。从20世纪90年代开始,关于桑沟湾海水养殖容量以及养殖活动对桑沟湾生态系统的影响开展了一系列的研究工作(方建光等 1996;朱明远等 2000;张继红等 2003、2006;张莉红等 2005),其中刘慧等(2003)对桑沟湾3个站点浮游植物的周年变动情况进行了研究,宋洪军等(2007)分析了桑沟湾浮游植物多样性的年际变化,慕建东等(2009)研究了桑沟湾春、夏季浮游植物生态特征。但是,对于整个桑沟湾来讲,在经过近30年的大规模养殖活动后,浮游植物种类和数量的变动格局发生了哪些变化尚缺乏系统的了解和认识。本文基于2006~2007年对桑沟湾全湾的生态系统综合调查,分析了浮游植物种类组成和数量的季节变动特征及其与养殖活动的关系,以为阐明海水养殖对近海生态系统的影响,评估养殖容量和建立科学合理的生态养殖模式提供基本参数和依据。

1 材料与方 法

于2006年4、7、11月和2007年的1月对桑沟湾进行4个季度的大面调查。共设19个调查站位(图1),采用“浅水Ⅲ”型浮游生物网从底至表垂直拖取浮游植物样品,样品保存于5%甲醛溶液中,在实验室显微镜下进行种类鉴定和计数。同时部分站位取水样1L,用鲁哥氏液固定,以个体计数法定量。同步采集水样进行营养盐浓度的测定,水温、盐度等指标用美国YSI-6600型水质分析仪现场测定(张继红等 2008)。具体方法按国家海洋调查规范(GB/T12763.6-2007)执行。

浮游植物多样性采用 Shannon-Wiener 指数(H'),其公式为:

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

其中, H' 为生物多样性指数; S 为样品中的种类总数; P_i 为第 i 种的个体数与总个体数的比值。

优势度的计算:

各物种的优势度根据其出现的频率及丰度来计算(孙儒泳 1992), 计算公式为:

$$Y = (n_i / N) \times f_i$$

其中, Y 为优势度, n_i 为第 i 个种的丰度, N 为样品的总丰度, f_i 为该种的站位出现频率。以优势度 $Y > 0.02$ 的标准来确定优势种类(徐兆礼等 1989)。

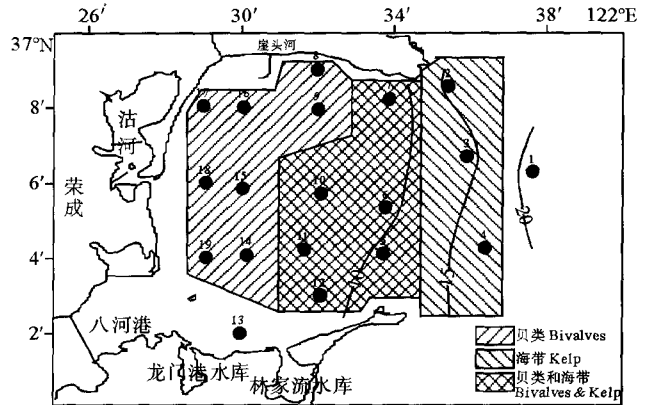
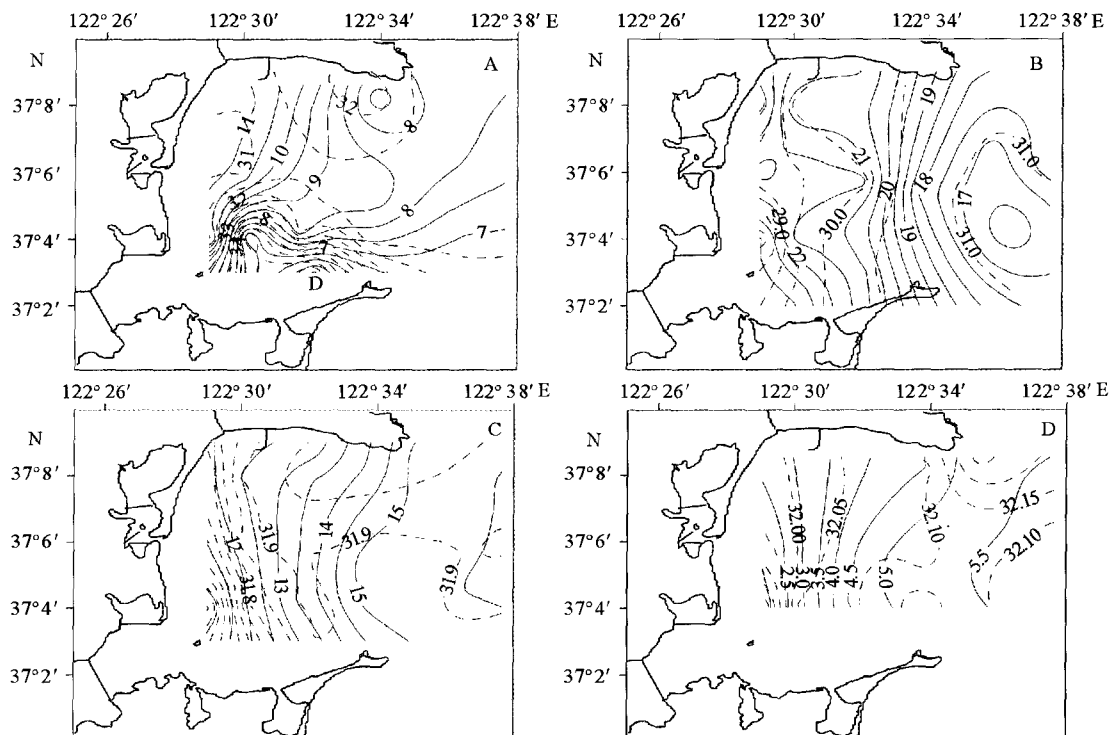


图 1 桑沟湾养殖布局 and 调查站位
Fig. 1 The mariculture pattern and survey stations in Sangou Bay

2 结果

2.1 水文环境

桑沟湾属于典型的温带海湾, 水深较浅, 水温受气候影响季节性变化明显。夏季航次期间水温最高 ($20.2 \pm 2.2^\circ\text{C}$), 冬季水温只有 $4.4 \pm 1.4^\circ\text{C}$ (图 2)。春、夏季水温由湾口向湾内逐渐升高, 而秋、冬季由湾口向湾内逐渐降低。由于陆地径流较少, 只有夏季湾内西部海水盐度低于 30 (图 2 B), 其他季节海水盐度均在 31 以上。



说明: A. 2006 年 4 月; B. 2006 年 7 月; C. 2006 年 10 月; D. 2007 年 1 月
Note: A. April 2006; B. July 2006; C. October 2006; D. January 2007

图 2 调查海域表层水温 ($^\circ\text{C}$, 实线) 和盐度 (虚线) 平面分布

Fig. 2 Horizontal distributions of surface temperature ($^\circ\text{C}$, solid line) and salinity (dashed line) in the survey area

2.2 浮游植物种类组成

本次研究共鉴定浮游植物 28 属 92 种(含变种和型),其中硅藻类 74 种、甲藻类 11 种、金藻类 1 种及绿藻类 6 种(表 1)。全湾浮游植物种类组成以硅藻类为主,甲藻类次之。种类多数属暖温带近岸广布种,但是种类组成上存在季节性演替,只有 18 种硅藻和两种甲藻在四季都有出现。浮游植物种类数量在春季最高(64 种),秋、冬季次之,夏季最少(45 种)。

表 1 桑沟湾浮游植物优势种季节组成
Table 1 The dominant species of phytoplankton in Sanggou Bay

调查时间 Sampling time	优势种 Dominant species	优势度 Dominance degree	数量百分比 Percentage(%)	
			单种 Single species	合计 Total
2006-04 April 2006	尖刺拟菱形藻 <i>Pseudonitzschia pungens</i>	0.327	32.7	89.4
	具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>	0.157	16.7	
	布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwelli</i>	0.162	16.2	
	奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>	0.155	15.5	
	密联角毛藻 <i>Chaetoceros densus</i>	0.078	8.3	
2006-07 July 2006	尖刺拟菱形藻 <i>Pseudonitzschia pungens</i>	0.286	30.2	73.9
	具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>	0.074	11.7	
	奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>	0.068	10.0	
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	0.058	22.0	
2006-11 November 2006	具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>	0.154	25.1	74.4
	奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>	0.122	15.7	
	布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwelli</i>	0.073	7.7	
	短纹楔形藻 <i>Licmophora abbreviata</i>	0.058	14.8	
	爱氏辐环藻 <i>Actinocyclus ehrenbergii</i>	0.040	4.5	
	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	0.029	6.5	
2007-01 January 2007	念珠直链藻 <i>Melosira moniliiformis</i>	0.314	31.4	94.8
	诺氏海链藻 <i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	0.217	46.5	
	具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>	0.075	10.2	
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	0.031	6.7	

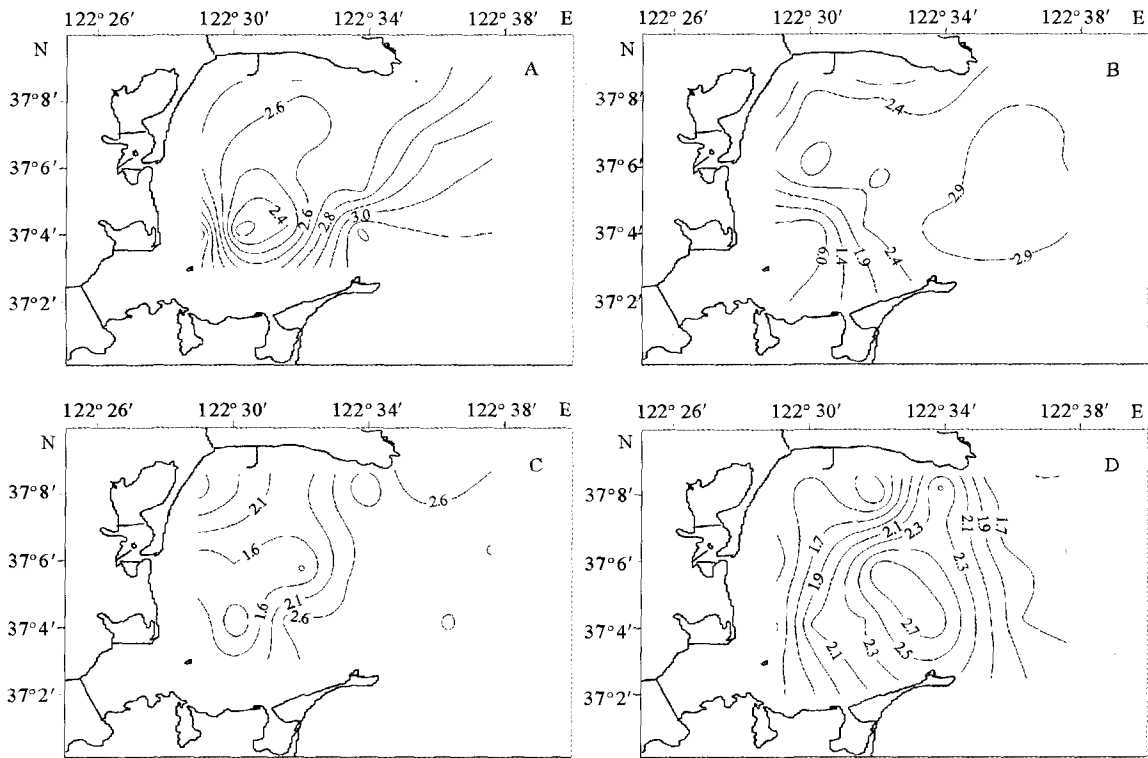
桑沟湾浮游植物优势种明显,虽然不同季节优势种的组成有所变化,但是就单个季节来看,通常有 4~6 种硅藻是浮游植物的主要组成部分,其细胞数量百分比可以占到总数量的 70%以上(表 2)。其中,具槽直链藻在 4 个调查航次中都是优势种,奇异菱形藻在春、夏、秋季是优势种,尖刺菱形藻虽然只在春、夏季航次期间是优势种,但是其占到浮游植物总数量的 30%以上。另外,中肋骨条藻在夏、冬季形成桑沟湾浮游植物的优势类群,特别是夏季航次期间,全湾平均占到浮游植物总细胞数量的 22.0%,是湾西北部近岸浮游植物高值区的主要贡献者。

多样性指数分析表明,从季节变化上看,桑沟湾浮游植物春季多样性最高(2.74 ± 0.26),夏、秋季次之,冬季最低(1.91 ± 0.59)。从空间分布格局来看,春、夏、秋季多样性指数由湾外向湾内逐渐降低(图 3A,B,C),冬季多样性指数最高值出现在靠近湾口的西部水域,而外海和内湾水域多样性均较低(图 3D)。

表 2 桑沟湾浮游植物物种组成长期变化

Table 2 Long-term changes of the species composition of phytoplankton in Sanggou Bay

调查时间 Sampling time	浮游植物种类组成(包括变种)Phytoplankton composition (including mutation)				数据来源 Reference
	总数 Total	硅藻 Diatoms	甲藻 Dinoflagellates	其他 Others	
1983~1984	181	145	34	2	毛兴华等 1988
1989~1990	118	103	14	1	宋洪军等 2007
1999~2000	148	117	25	6	宋洪军等 2007
2003~2004	75	65	9	1	宋洪军等 2007
2006~2007	92	74	11	7	本次调查



说明:A. 2006年4月;B. 2006年7月;C. 2006年10月;D. 2007年1月

Note: A. April 2006;B. July 2006;C. October 2006;D. January 2007

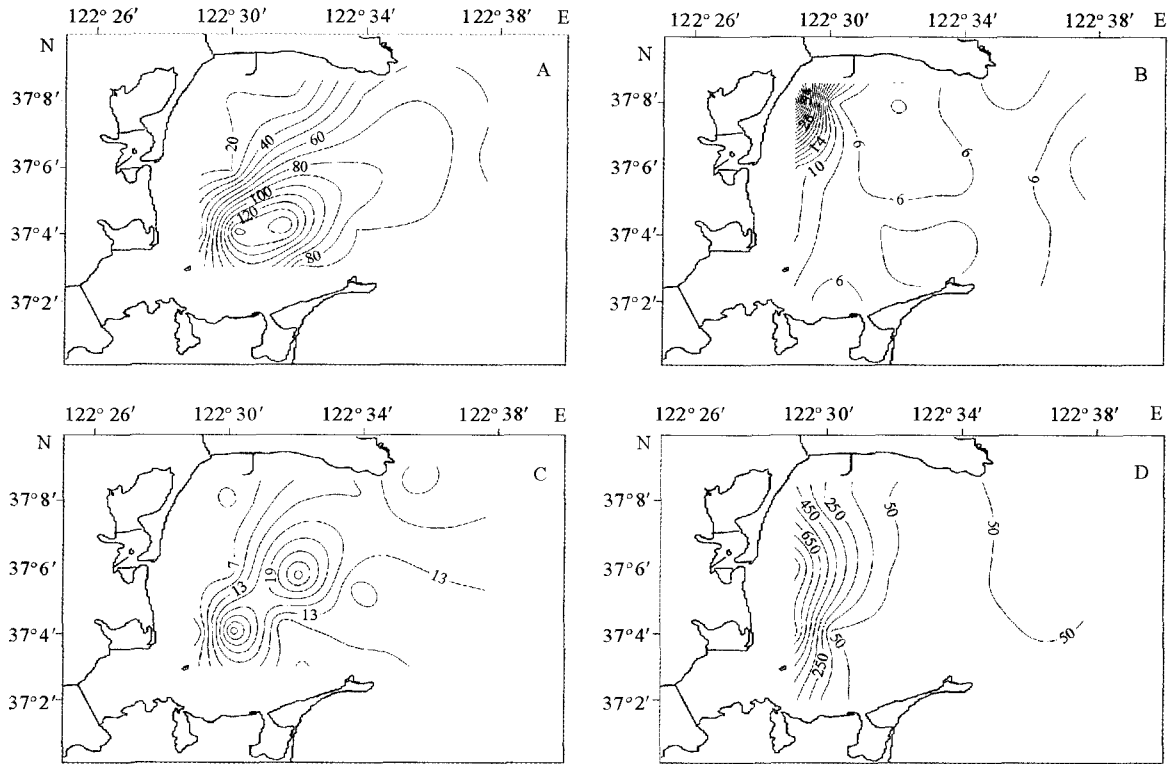
图 3 桑沟湾浮游植物多样性指数(Shannon-Wiener 指数)季节分布

Fig. 3 Seasonal patterns of the phytoplankton diversity indices (Shannon-Wiener index) in Sanggou Bay

2.3 浮游植物密度分布特征

桑沟湾浮游植物数量季节变化较大。浮游植物细胞密度最大值出现在冬季,调查海域平均细胞密度达到 188.4×10^4 cells/m³,分布特征表现为从湾外向湾内逐渐增加,诺氏海链藻和中肋骨条藻在湾西部近岸形成密集区(图 4D)。春季浮游植物细胞密度下降到平均 63.0×10^4 cells/m³,分布格局也发生变化,最大密度出现在湾中部贝藻养殖区,主要由布氏双尾藻、尖刺菱形藻和奇异菱形藻形成,并且向东北部呈扇形扩展至湾外,并且念珠直链藻的数量逐渐增多(图 4A)。夏季浮游植物数量密度最低,除了在桑沟湾西北角靠近河口的 17 站出现由中肋骨条藻形成的小高值区以外,大部分调查海域的浮游植物密度均低于 10×10^4 cells/m³(图 4B)。秋

季浮游植物细胞密度虽然比夏季略有增加,但是总体上依然处于较低的水平(平均为 11.7×10^4 cells/m³),相对高值区出现在湾中部贝藻养殖区。



说明:A. 2006年4月;B. 2006年7月;C. 2006年10月;D. 2007年1月

Note: A. April 2006; B. July 2006; C. October 2006; D. January 2007

图4 桑沟湾浮游植物细胞数量丰度($\times 10^4$ cells/m³)分布的季节变化

Fig. 4 Seasonal variations of the horizontal distribution patterns for phytoplankton densities ($\times 10^4$ cells/m³) in Sanggou Bay

3 讨论

物种是生态系统基本组成部分,其种类组成和多样性是生态系统功能和结构的决定因素。浮游植物作为海洋生态系统初级生产的承担者,无论其数量变化,还是种类发生变化,都将对生态系统的稳定性产生影响。桑沟湾作为温带海湾,浮游植物种类结构表现出以近岸广温广布种和近岸暖温种为主的生态类型,硅藻和甲藻是浮游植物的主要类群,这与以前在桑沟湾的调查结果基本相同(毛兴华等 1988;宋洪军等 2007;张继红 2008;慕建东等 2009)。但是通过对比已有的研究结果可以看出(表2),浮游植物的种类数量发生了明显变化。与桑沟湾养殖活动刚刚开始1983~1984年调查结果相比,浮游植物种类数下降了将近一半。另外,浮游植物优势种类的组成也存在一定的演替,1983~1984年调查中浮游植物的优势种类主要包括骨条藻、园筛藻、尖刺菱形藻等,其中骨条藻全年平均占浮游植物总数的27.1%,在夏季(7月)更高,达浮游植物总量的95%(毛兴华等 1988)。而本次研究结果表明,占有绝对优势的中肋骨条藻只在夏(7月)、冬季(1月)成为优势种,并且7月圆筛藻已经不能形成原有的优势,而底栖性的具槽直链藻和奇异菱形藻成为桑沟湾重要的优势类群。虽然关于桑沟湾养殖活动对浮游植物组成变动尚未见系统报道,但是大量研究证实,桑沟湾筏式贝类养殖主要品种(栉孔扇贝、牡蛎等)对浮游植物存在选择性摄食(王芳等 2000; Zhang *et al.* 2010),因此,如此大规模的贝类养殖活动势必对浮游植物的种类组成产生影响(季如宝等 1998)。另外,桑沟湾大规模的海带养殖吸收大量的营养盐,尤其是氮盐,在海带的生长季节桑沟湾溶解无机氮的含量明显下降(方建光等

1996),由此造成的营养盐浓度和结构的变化也将影响浮游植物的种类演替(Newell 2004)。再者,大量养殖筏架和网笼为具有附着习性的底栖硅藻提供了更多的生境,也可能是引起底栖性硅藻数量比例上升的原因之一。

生物多样性 Shannon-Wiener 指数的高低反映生物群落结构的复杂程度,通常指数越高,群落越复杂,对环境的反馈和适应功能越强,从而群落的结构较为稳定。本次研究结果显示,桑沟湾浮游植物多样性指数在 1.91~2.74 之间,处于已有研究结果变化范围之内(宋洪军等 2007;慕建东等 2009),甚至比养殖初期(1993~1984 年),年平均多样性指数还略有增加,说明调查期间桑沟湾浮游植物群落尚处于较为稳定的状态(宋洪军等 2007)。

本研究调查结果显示,桑沟湾浮游植物细胞密度季节变化呈现单峰型,冬季浮游植物最高。在桑沟湾开展养殖活动初期,浮游植物细胞密度的季节变化呈现双峰型,在夏初(7月)和秋季(10月)出现两个高峰(毛兴华等 1988),20世纪90年代中期的调查结果则是浮游植物生物量在冬末春初和夏季两个高峰(方建光等 1996)。导致浮游植物数量季节格局变化的原因可能与桑沟湾的养殖活动密切相关。1983~1984年调查期间,桑沟湾的大规模海水养殖刚刚起步,浮游植物的季节变动与毗邻的黄海海域基本同步,而且当时主要以海带养殖为主,2~6月是海带的主要生长期,海带的快速生长与浮游植物形成营养盐竞争,同时海带养殖影响海水的光照条件,因此春季浮游植物高峰被海带养殖所抑制,而海带收获后的秋季高峰依然存在。20世纪90年代中期桑沟湾贝类养殖已经形成一定的规模,贝类摄食与温度呈正相关,而贝类的高摄食压力压制了秋季浮游植物高峰的形成(方建光等 1996)。桑沟湾养殖活动发展至今,湾内海水养殖品种、规模和方式都发生了较大变化,海水养殖年总产量从20世纪80年代中期的4~5万t(主要是海带),90年代中期的14~16万t(海带和贝类大约各占一半),到目前超过24万t(海带维持在8万t左右,贝类约16万t,其中主要是牡蛎养殖)。由此可见,海带养殖从20世纪90年代以来基本保持稳定,而贝类养殖增加了1倍。贝类对水体中的有机颗粒具有很强的滤食能力,依据室内实验结果推算,在桑沟湾主要养殖种类长牡蛎、栉孔扇贝、紫贻贝的主要生长季节(4~10月),只需要3~4d时间,养殖的贝类就能够将整个湾的海水(约 $1.3 \times 10^9 \text{ m}^3$)滤过一遍(张继红等 2005)。因此,浮游植物已经难以在这一时期形成高峰。与邻近海域及其他海湾相比(表3),浮游植物细胞数量明显偏低,也说明桑沟湾长期的大规模养殖抑制了浮游植物的生长。

表3 桑沟湾与邻近海域和胶州湾浮游植物密度季节变化比较($\times 10^4 \text{ cells/m}^3$)

Table 3 Seasonal variations of phytoplankton densities in Sanggou Bay, its adjacent areas and Jiaozhou Bay($\times 10^4 \text{ cells/m}^3$)

海区 Area	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	资料来源 Reference
桑沟湾 Sanggou Bay	63	10	12	188	本次调查
桑沟湾 Sanggou Bay(1983~1984)	60	535	1 001	42	毛兴华等 1988
胶州湾 Jiaozhou Bay	1 830	11	147	274	同期调查*
胶州湾 Jiaozhou Bay(1992~1999 平均 Average)	1 666	896	87	516	胶州湾站*
山东半岛南岸 South shore of Shandong Peninsula	300	200	400	1 600	海岸带调查**
黄海 Yellow Sea	577	28	254	111	俞建奎 1993

注:* 为山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站监测资料;

** 为山东省海岸带和海涂资源综合调查海洋生物调查报告,1987

由作者的调查结果可以看出,桑沟湾大规模海水养殖已经对浮游植物的群落结构产生影响。因此,如何建立合理科学的养殖模式,开展基于生态系统水平的海水养殖是保证桑沟湾海水养殖产业可持续发展的重要课题。对比不同养殖区浮游植物群落特征可以看出,贝藻混养区浮游植物的多样性指数相对高于贝类和藻类养殖区,从而支持合理科学的多营养层综合养殖模式对于生态系统的压力较小,有利于维护养殖生态系统的稳定性,为推动基于生态系统的多营养层综合养殖模式提供了科学例证。

参 考 文 献

- 方建光,匡世焕,孙慧玲,孙耀,周诗贵,宋云利,崔毅,赵俊,杨琴芳,李锋,Grant, J., Emerson, C., 张爱君,王兴章,汤庭耀. 1996a. 桑沟湾栉孔扇贝养殖容量的研究. 海洋水产研究, 17(2): 18~31
- 方建光,匡世焕,孙慧玲,孙耀,周诗贵,宋云利,崔毅,赵俊,杨琴芳,李锋,Grant, J., Emerson, C., 张爱君,王兴章,汤庭耀. 1996b. 桑沟湾海带养殖容量的研究. 海洋水产研究, 17(2): 7~17
- 王芳,董双林,张硕,王如才. 2000. 海湾扇贝和长牡蛎的食物选择性及滤除率的实验研究. 海洋与湖沼, 31(2): 139~144
- 毛兴华,张为先,张建中. 1988. 桑沟湾增养殖环境综合调查研究. 青岛: 青岛出版社, 8~46, 113~148
- 刘慧,方建光,董双林,梁兴明,姜卫蔚,王立超,连岩. 2003. 莱州湾和桑沟湾养殖海区浮游植物的研究 II. 海洋水产研究, 24(3): 20~28
- 孙儒泳. 1992. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社, 360~361
- 朱明远,张学雷,李瑞香,陈尚. 2000. 海水贝类养殖对生态系统的影响. 青岛海洋大学学报, 30(2): 53~57
- 宋洪军,李瑞香,王宗灵,张学雷,刘萍. 2007. 桑沟湾浮游植物多样性年际变化. 海洋科学进展. 25(3): 332~339
- 张继红,方建光,梁兴明,张学雷. 2003. 栉孔扇贝的氮收支平衡及其对桑沟湾氮循环的影响. 海洋与湖沼(973 专辑), 128~135
- 张继红,方建光,唐启升. 2005. 中国浅海贝类养殖对海洋碳循环的贡献. 地球科学进展, 20(3): 359~365
- 张继红,方建光. 2006. 栉孔扇贝对春季桑沟湾颗粒有机物的摄食压力. 水产学报, 30(2): 277~280
- 张继红. 2008. 滤食性贝类养殖活动对生态系统的影响及生态容量评估. 见: 中国科学院研究生院博士学位论文
- 张莉红,张学雷,李瑞香,王宗灵,李艳,王立超,连岩,刘瑶. 2005. 桑沟湾扇贝养殖对甲藻数量的影响. 海洋科学进展, 23(3): 342~346
- 季如宝,毛兴华,朱明远. 1998. 贝类养殖对海湾生态系统的影响. 黄渤海海洋, 16(1): 21~27
- 俞建奎,李瑞香. 1993. 渤海、黄海浮游植物生态的研究. 黄渤海海洋, 11(3): 52~59
- 慕建东,董玮,陈碧鹃,王巍,方建光,唐学玺. 2009. 桑沟湾浮游植物生态特征. 渔业科学进展, 30(3): 91~96
- McKindsey, C. W., Anderson, M. R., Barnes, P., Courtenay, S., Landry, T., and Skinner, M. 2006. Effects of shellfish aquaculture on fish habitat. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2006/011: viii+84
- Newell, R. I. E. 2004. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension feeding bivalve mollusks: a review. J. Shellfish Res. 23(1): 51~61
- Olsen, Y. 2002. MARICULT Research Programme: background, status and main conclusions. Hydrobiologia, 484: 1~10
- Petersen, J. K., Nielsen, T. G., Duren, L., and Maar, M. 2008. Depletion of plankton in a raft culture of *Mytilus galloprovincialis* in R a de Vigo, NW Spain. I. Phytoplankton. Aquat. Biol. 4: 113~125
- Prins, T. C., Smaal, A. C., and Dame, R. F. 1998. A review of the feedbacks between bivalve grazing and ecosystem processes. Aquat. Ecol. 31: 349~359
- Zhang, J. H., Fang, J. G., and Liang, X. M. 2010. Variations in retention efficiency of bivalves to different concentrations and organic content of suspended particles. Chin. J. Oceanol. Limnol. 28(1): 10~17