

莱州湾渔业资源与环境变化趋势分析

张锦峰^{1,2}, 高学鲁^{1*}, 庄文¹, 李培苗¹, 周凤霞¹

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东烟台 264003; 2. 鲁东大学化学与材料科学学院, 山东烟台 264025)

摘要:依据近30年来关于莱州湾环境典型污染物、浮游植物和渔业资源的调查资料,报道了莱州湾水环境质量、浮游植物和渔业资源的变迁规律,并简单分析了三者之间的关系;结果表明:(1)从上世纪80年代初起至本世纪初,莱州湾环境中无机氮平均含量经历了由低到高的变化,到2009年无机氮含量已超过劣四类海水水质标准;无机磷平均含量呈总体降低趋势,氮磷摩尔比在所考察的大部分时段内高于Redfield 阈值(16);(2)1980年代末以来,磷是限制莱州湾浮游植物生长的限制性营养盐,莱州湾浮游植物的种类在减少,群落结构趋于简单化;(3)莱州湾渔获物种数年均减少1.5种;鱼卵、仔稚鱼种类年均减少0.7种;单位捕捞努力量渔获量年均降低10 kg/h;近海捕捞量逐年减少,仅潍坊市,近海捕捞量从1989年的18.7万t减少到2007年的1.7万t;(4)限制浮游植物生长的营养盐从氮转变为磷,莱州湾浮游植物群落已由硅藻占绝对优势演变为硅藻和甲藻共同占优势;(5)与其他因素相比,氮磷比与莱州湾近海捕捞量存在更显著的相关性;氮磷比及COD含量与渔获物种数存在显著相关性;说明海水氮磷比是决定莱州湾渔业资源量的关键因素,而资源种数受有机物污染影响较大。

关键词:莱州湾;无机氮;无机磷;浮游植物;渔业资源;相关性

中图分类号: X171.1

文献标志码: A

文章编号: 1003-6482(2014)03-082-09

DOI: 10.13984/j.cnki.cn37-1141.2014.03.012

引言

莱州湾位于山东半岛西北,渤海南部,与辽东湾、渤海湾并称渤海三大海湾。湾口西起现代黄河新入海口,东迄妃姆岛高角,宽96 km,海岸线约400 km,海湾面积8000 km²。沿岸自西向东分布有东营市东营区、河口区、垦利县、广饶县,潍坊市寒亭区、寿光市、滨海新区、昌邑市,烟台市的莱州市、招远市和龙口市等10个市、县、区,总面积15 902.5 km²。该区域石油、化工、电子、盐化、造纸和黄金等行业在全国有重要地位,已经成为山东省重要的经济开发区^[1]。

莱州湾曾经是渤海最主要的渔业区,是黄渤海生态系统中渔业生物的产卵场与索饵场。但是,随着沿岸工农业的发展和人口增长,排海污染物迅速增加,海水污染程度加重,加上海洋石油开采业的兴起以及对渔业资源的过度捕捞,莱州湾的生物资源结构发生了变化,种类交替出现及数量下降,渔获个体小型和低质化,严重影响了渔业生产^[2-3]。污染区又多属经济动物的产卵索饵区,海水污染严重影响了这些动物早期幼体的存活,对贝类的影响尤为突出,经常造成滩涂成贝大面积死亡^[5]。近年来来自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总量和资源结构都发生了较大的变化,尤以近岸和河口表现更为严重^[6]。昔日的海上粮仓,今日已无鱼可捕,上世纪50年代的机帆作业,一次出海可捕获小黄鱼、带鱼数百斤、对虾数十斤;毛虾单网产量可达上百斤;70年代的机帆作业,对虾高产网次可达200~300箱,一航次仅兼捕渔获叫姑鱼、小带鱼就达数万斤^[7];1990年代橛张网作业尚可捕到几尾小黄鱼、对虾和十几斤毛虾^[8]。到2002年除毛虾、黄鲛鲛和少量蓝点马鲛之外,很难捕到其他经济鱼种。

海洋环境变化已经影响到我国近海渔业资源的可持续利用。控制海洋污染,保护海洋渔业资源已刻

基金项目:山东省科技发展计划项目(2012GHY11535)资助

第一作者简介:张锦峰,博士研究生,讲师,E-mail:zhjf_2005@163.com

* 通讯作者:高学鲁,博士生导师,研究员,E-mail:xliao@yic.ac.cn

收稿日期:2013-11-19

不容缓,因此考察环境长期变化对渔业资源种群和数量的影响机制显得非常必要,然而,陆源污染的多样性和不确定性使得要确定环境因子与渔业资源各指标变化间的内在联系显得相当困难,而且海洋污染对生态环境的破坏往往是潜移默化,不易被察觉的,所产生的危害效应也具有潜在性和滞后性^[4]。因此,从较长时间跨度上考察莱州湾环境变化跟渔业资源变化之间的关系显得十分必要。本文旨在依据过去 30 年来对莱州湾环境和渔业资源的调查资料,分析莱州湾水环境质量和渔业资源的变化规律,初步探讨各典型污染指标和渔业资源变化之间的关系,从而为制定区域性污染防治对策、更科学地进行海洋资源开发提供一定参考,对其他海域也有一定借鉴意义。

1 数据与方法

莱州湾近 30a 水环境质量数据源于中国近海环境质量报告(1982~1998)和单志欣等^[9-20]的研究;浮游植物数据源于等^[21-28]的研究;渔业资源数据源于等^[29-37]的研究和山东渔业监测站的监测数据^[7-8]以及潍坊市 1982~2009 年统计年鉴^[38]。

所考察指标的年度数据采用该年度丰水期文献数据平均值,通过比较各年度的平均数据,考察莱州湾渔业环境和资源的变化趋势,并从较长时间跨度上应用 SPSS 软件分别分析了莱州湾无机氮、无机磷、氮磷比和 COD 变化与近海捕捞量、渔获物种群变化之间的相关性。

2 结果与讨论

历年资料分析主要针对:(1)莱州湾近 30 年的氮、磷和部分时段的 COD 长期变化;(2)莱州湾浮游植物种群长期变化;(3)莱州湾渔获物种群数、近海捕捞量和单位捕捞努力量渔获量的长期变化。结果讨论如下。

2.1 莱州湾水环境质量变迁

根据近 30a 来对莱州湾水环境的调查资料,分析了莱州湾无机氮、无机磷、氮磷比、COD 及重金属等几种典型污染物的长期变化规律。

2.1.1 莱州湾无机氮含量长期变化

分析近 30a 来莱州湾海水中无机氮平均含量变化,结果表明:(1)上世纪 80 年代中前期,莱州湾无机氮平均含量小于 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,符合一类海水水质标准;(2)上世纪 80 年代末至 90 年代初,无机氮平均含量在 $0.25 \sim 0.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,海水无机氮开始从轻度污染向中度污染过度;(3)上世纪 90 年代中后期无机氮平均含量大于 $0.55 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,处于严重污染水平,属劣四类海水水质;(4)上世纪 90 年代末至本世纪初莱州湾无机氮平均含量曾经短时间内降低到较清洁标准线以下,随后又逐年上升,又一次经历了从轻度污染、中度污染到严重污染的过度;(5)到本世纪的 2009 年无机氮含量达到 $1.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,超过劣四类海水水质标准 2 倍;总体上看,莱州湾海水中无机氮浓度经历了由低到高的变迁,到 2009 年已达到并超过劣四类海水水质标准,处于严重污染水平。莱州湾无机氮平均含量长期变化见图 1。

2.1.2 莱州湾无机磷含量长期变化

从上世纪 80 年代初到本世纪 2009 年,莱州湾无机磷平均含量呈总体降低趋势,从 1982 年的 $0.067 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,降低到 2009 年的 $0.0075 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,降低了近 10 倍;值得一提的是,在 1990 年代末及 20 世纪初头几年的短时间内,莱州湾无机磷含量并没有遵从总体降低的趋势,而是保持了较高水平,在 $0.045 \sim 0.055 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,这与无机氮含量在该时段内保持在较清洁标准线以下刚好吻合,说明 20 世纪初头几

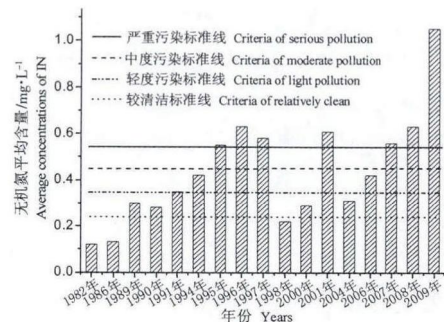


图 1 莱州湾无机氮平均含量长期变化
Fig. 1 Long-term changes in the average content of inorganic nitrogen in the Laizhou Bay

年莱州湾海水营养状况良好. 莱州湾无机磷平均含量长期变化见图 2。

2.1.3 莱州湾氮磷比长期变化

莱州湾海域的氮磷摩尔比,除了在上世纪 80 年代初至 90 年代末低于 Redfield 阈值 16 外,其余大部分时段氮磷比偏高,而且有逐年升高的趋势,氮磷比从 1982 年的 4.1 增加到了 2009 年的 199,说明莱州湾海水从上世纪 90 年代初由氮限制转变为磷限制,且该海域从上世纪 90 年代以来的大部分时段内均处于富营养状态,且富营养状况有日益加重的趋势。富营养为赤潮爆发提供了条件,这也是上世纪 90 年代以来莱州湾赤潮频发的根源. 莱州湾海域氮磷比长期变化见图 3。

2.1.4 莱州湾 COD 长期变化

由于数据限制,仅考察了上世纪 90 年代莱州湾 COD 变化情况,其中只有 1992 年、1993 年和 1995 年的 COD 含量符合一类海水水质标准,其余年份都超过一类海水水质标准,并且有逐年增加的趋势,到 1997 年 COD 含量达到 $3.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,属于中度污染水质。上世纪 90 年代莱州湾 COD 变化见图 4。

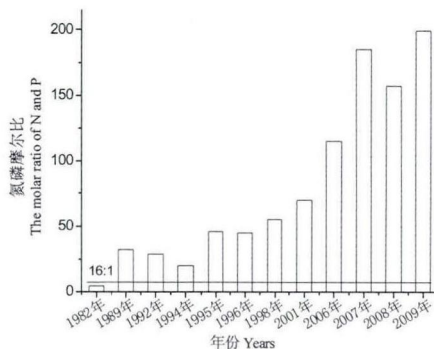


图 3 莱州湾氮磷摩尔比长期变化

Fig. 3 Long-term changes in the mole ratios of nitrogen and phosphorus in the Laizhou Bay^[18-27]

2.1.5 莱州湾重金属污染状况

莱州湾受重金属污染不明显,大部分重金属含量低于一类海水水质标准^[18],上世纪 90 年代以前,重金属 Pb 有超标现象,1998 年 Pb 超标率为 73%,标准指数 1.41^[11];近年来 Cu、Zn 含量有逐年增加趋势,且已成为主要重金属污染物^[15]。

2.2 水环境质量对渔业资源影响

2.2.1 富营养对渔业资源的影响

氮、磷是海洋浮游植物生长的必需营养盐^[19],它们浓度及比值的会引起浮游植物群落的变化^[40],浮游植物群落中硅藻和甲藻相对组成的变化可导致莱州湾渔业资源结构的改变。硅藻支撑着莱州湾的重要渔业资源生物,其食物链为:硅藻→浮游动物→中小型鱼类(如鳀鱼和黄鲫等)→游泳动物食性鱼类(如蓝点马鲛、鲈鱼和带鱼等)。甲藻支撑的资源生物经济价值不大,并且食物链长度较短,其食物链为:甲藻→浮游动物→大型水母,其中水母类较少被上层捕食者利用^[39]。Redfield 比值常被用来判断渤海浮游植物生长的限制性营养盐^[23,40-42]。当海水中氮磷摩尔比高于 16 时,磷是浮游植物生长的限制性营养盐;当海水中氮磷摩尔比低于 16 时,氮是浮游植物生长的限制性营养盐。朱树屏和郭玉洁^[43]研究发现浮游植物生长所需无机氮、无机磷最适浓度的下限分别为 5.71 和 $0.58 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,当氮、磷营养盐浓度均低于该浓度下限时,不论氮磷比有多大,氮和磷均成为浮游植物生长的限制性营养盐^[42,44]。

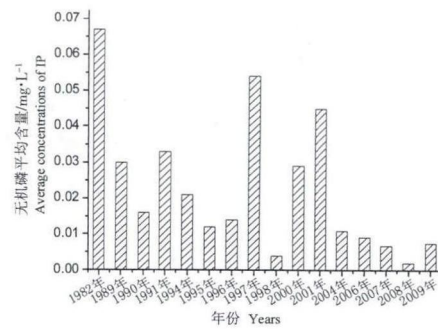


图 2 莱州湾无机磷平均含量长期变化

Fig. 2 Long-term changes in the average content of inorganic phosphorus in the Laizhou Bay

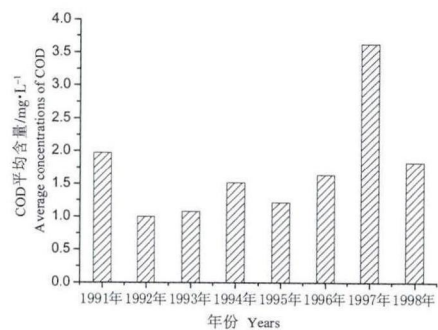


图 4 上世纪 90 年代莱州湾 COD 变化

Fig. 4 Interannual variations of COD in the Laizhou Bay^[13-14]

根据前文关于莱州湾氮磷比和氮、磷含量数据,可以认为:20 世纪 80 年代初期,莱州湾溶解性无机氮的浓度低于 $5.71\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,而溶解性无机磷的浓度高于 $0.58\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,且该阶段氮磷比值平均约为 8.3,低于 Redfield 比值(16),因此,氮是 20 世纪 80 年代初期浮游植物生长的限制性营养盐。20 世纪 80 年代末期以来,莱州湾氮磷比均高于 Redfield 比值(16)(见图 3)。因此,20 世纪 80 年代末以来磷是限制浮游植物生长的限制性营养盐。近几十年来,伴随浮游植物从氮限制转变为磷限制,浮游植物群落已由硅藻占绝对优势逐步演变为硅藻和甲藻共同占优势^[24]。随着硅藻优势地位的降低和甲藻优势地位的升高,硅藻支撑的食物链被削弱,甲藻支撑的食物链被增强,进而导致莱州湾高营养级渔业资源生物群落的衰退,以及大型水母类等低营养级、低经济价值生物的大量繁殖。

从历史调查资料来看,虽然采样季节、采样区域的差异可能会对结果造成一定的影响,但是仍能看出群落结构变动的大致趋势。莱州湾浮游植物的种数有明显的下降趋势,分别为 1960 年 27 属 65 种,1982 年为 27 属 61 种,1992 年为 25 属 54 种,1998 年为 20 属 45 种,到 2009 年为 20 属 34 种(见表 1)。从 1960 年到 2009 年间,各调查航次的浮游植物生物多样性指数、丰度指数、均匀度指数均有下降的趋势,尤其是 2009 年降到了最低(见表 1)。从 1960 年到 1997 年,莱州湾生物多样性指数都在 1.5~3.5 的正常范围内,1998 年以后生物多样性指数都处于较低水平;除 2002 年均匀度指数有所回升外(这与该时段莱州湾水域营养状况良好吻合),在 1982—1998 年间,均匀度指数都较低。说明莱州湾浮游植物的种类在减少,同时优势种的优势度特别明显,1982—1998 年均出现 1~2 种浮游植物占总个体数量的 60%~80% 以上的现象。综上所述,莱州湾浮游植物不仅在种类上减少,而且种群的结构逐年简单化,这种现象显然是生态失衡的信号,必将引起莱州湾渔业资源的变化,应引起足够的重视。

表 1 莱州湾浮游植物种类数、丰度系数、均匀度及多样性指数长期变化

Table 1 Long-term changes in species number, species richness, evenness and diversity indices of phytoplankton in the Laizhou Bay

项目 Item	1960	1982	1992	1997	1998	2002	2009
属的总数量 Total number of genus	27	27	25	/	20	22	20
种的总数量 Total number of species	65	61	54	36	45	45	34
丰度系数(d) species richness index	3.28	2.37	2.62	2.08	2.3	2.87	0.62
均匀度指数(J) Evenness index	0.67	0.56	0.49	0.58	0.36	0.64	0.56
生物多样性指数(H) The biodiversity index	2.98	2.14	1.86	1.73	1.24	1.61	1.15
优势种 Dominant species	硅藻 <i>Diatom</i>	硅藻 <i>dinoflagellate</i>	硅藻+甲藻 <i>Diatom+</i> <i>dinoflagellate</i>	硅藻+甲藻 <i>Diatom+</i> <i>dinoflagellate</i>	硅藻+甲藻 <i>Diatom+</i> <i>dinoflagellate</i>	硅藻+甲藻 <i>Diatom+</i> <i>dinoflagellate</i>	硅藻+甲藻 <i>Diatom+</i> <i>dinoflagellate</i>

2.2.2 复合污染对渔业资源的影响

许思思等^[25]运用效应加和模型,忽略不同鱼类之间、不同甲壳类之间和不同双壳类之间生物个体的差异,将常见渔业资源视为鱼类、甲壳类或双壳类,粗略估算了各污染物的复合污染对鱼类、甲壳类和双壳类的致死率,研究表明复合污染导致的渤海湾常见渔业资源生物的长期死亡率远高于单个污染物暴露导致的长期死亡率。可以预知,莱州湾流域多元的陆源污染排放,也将导致该区域常见渔业资源的死亡率大大增加。生物种群增长率受该生物个体的死亡率的影响,对于特定种群,当出生率一定的时,个体死亡率越大,种群增长率越小。当死亡率大于出生率时,该种群即表现出衰退趋势。1982—2009 年莱州湾近岸海域海水营养盐、COD 和各种重金属的复合污染对鱼类、甲壳类和双壳类早期生命阶段的较高致死率,必然会导致其种群增长率的减小。

2.3 莱州湾渔业资源长期变化

根据近30年来对莱州湾渔业资源的调查资料,分析了莱州湾渔获物种数、鱼卵/仔稚鱼种类、单位捕捞努力量渔获量及近海捕捞量的长期变化规律。

2.3.1 莱州湾渔获物种数长期变化

从上世纪80年代初到90年代末,莱州湾渔获物种数量呈逐年减少趋势,从1982年的56种减少到1999年的32种,平均以每年1.5种的速度减少;1959年的调查数据显示莱州湾渔获物种数为76种,40a后的1999年减少到32种,种数减少了58%。莱州湾渔获物种数长期变化见图5。

2.3.2 莱州湾渔场鱼卵、仔稚鱼种类长期变化

莱州湾渔场的鱼卵、仔稚鱼种类呈逐年减少趋势;从1982年的27种减少到2004年的11种,平均每年减少0.7种;2004年的鱼卵、仔稚鱼种类数仅为1982年的40%。莱州湾渔场鱼卵、仔稚鱼种类长期变化见图6。

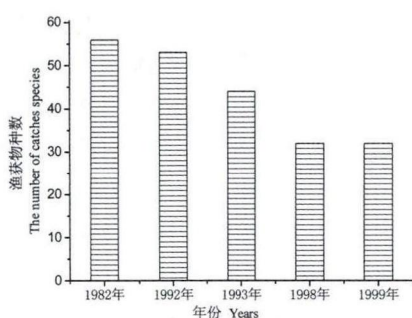


图5 莱州湾渔获物种数长期变化

Fig. 5 Long-term changes in species number of fishery resources in the Laizhou Bay

数据来源:[2-3,33-34]

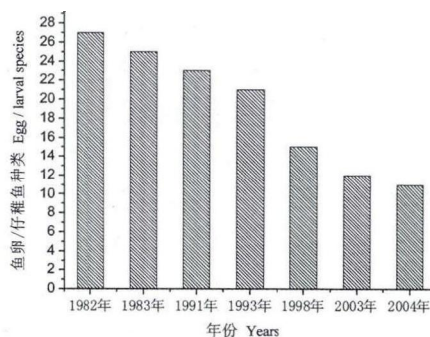


图6 莱州湾鱼卵/仔稚鱼种类长期变化

Fig. 6 Long-term changes in species number of fishing eggs/fish larvae in the Laizhou Bay

数据来源:[28-36]

2.3.3 莱州湾单位捕捞努力量渔获量长期变化

单位捕捞努力量渔获量能够直观反映施捕海域渔业资源的丰度,莱州湾的数据表明,从上世纪80年代初到90年代末,莱州湾单位捕捞努力量渔获量下降趋势明显,特别是在90年代后期下降趋势更显著,从1993年的 $62.3 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 直降到1999年的 $6.7 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$,平均年降 $10 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$;1999年的单位捕捞努力量渔获量仅为1982年的5.9%。莱州湾单位捕捞努力量渔获量长期变化见图7。

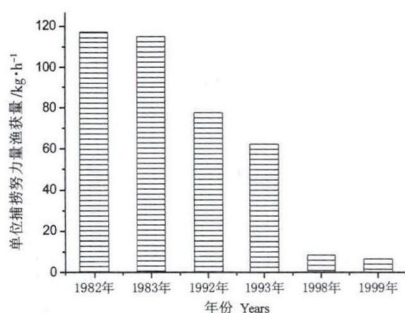


图7 莱州湾单位捕捞努力量渔获量长期变化^[2-3,32-34]

Fig. 7 Long-term changes of catches per unit of effort in the Laizhou Bay^[2-3,32-34]

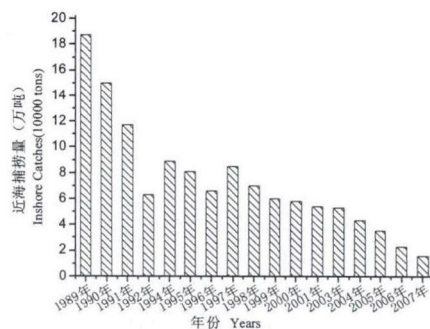


图8 潍坊市近海捕捞量长期变化^[37]

Fig. 8 Long-term changes in inshore catches in Weifang City^[37]

2.3.4 潍坊市近海捕捞量长期变化

潍坊市渔业统计数据显示,上世纪90年代及以前,随着捕捞努力量的增加,潍坊市海洋捕捞总量呈逐年增加趋势,捕捞总量从1989年的23万t增加到1999年的40万t,随后的十几年里都维持在40~50

万 t 之间,这与我国实施海洋渔业“零增长”政策吻合。90 年代初开始,国家鼓励引导远洋捕捞,这与近海资源萎缩,渔业生产效率低下有直接关系;仅以潍坊市 1994 年和 1995 年数据为例,1995 年远洋捕捞产量 13 万 t,为 1994 年远洋捕捞量 6.6 万 t 的 2 倍,随后的十几年里远洋捕捞量增加更迅猛,在“零增长”政策的前提下,近海捕捞量逐年减少也是可以预见的,潍坊市近海捕捞总量长期变化见图 8,近海捕捞量从 1989 年的 18.7 万 t 减少到 2007 年的 1.6 万 t。在捕捞压力增加条件下,近海捕捞量下降,说明近海资源总量减少。

2.4 环境质量与渔业资源相关性分析

从较长时间跨度上应用 SPSS 软件分别分析了莱州湾无机氮、无机磷、氮磷比和 COD 变化与近海捕捞量、渔获物种群变化之间的相关性。

2.4.1 环境质量与近海捕捞量的相关性

近海捕捞量是莱州湾渔业资源总量的直接反映,在捕捞努力量或捕捞压力增加的情况下,近海捕捞量逐年减少说明莱州湾近海渔业资源总量逐年减少,从数据分析可知,近海捕捞量变化与无机氮平均含量变化存在显著的负相关性($r = -0.672, P < 0.05, n = 17$);而与无机磷平均含量呈显著正相关($r = 0.625, P < 0.05, n = 17$);与氮磷比的相关性比前两者更显著($r = -0.743, P < 0.05, n = 12$);近海捕捞量与 COD 平均含量相关性不明显($r = 0.309, P > 0.05, n = 10$)。说明氮磷比是影响莱州湾近海渔业资源总量的关键因素。

2.4.2 环境质量与渔获物种数的相关性

莱州湾渔获物种数量逐年减少,种数与氮磷比($r = -0.899, P < 0.05, n = 5$)和 COD 含量($r = -0.716, P < 0.05, n = 8$)存在显著的相关性;而与无机氮($r = -0.132, P > 0.05, n = 5$)、无机磷($r = 0.784, P > 0.05, n = 5$)相关性不显著。说明有机污染物是影响莱州湾渔获物种数量的重要因素。

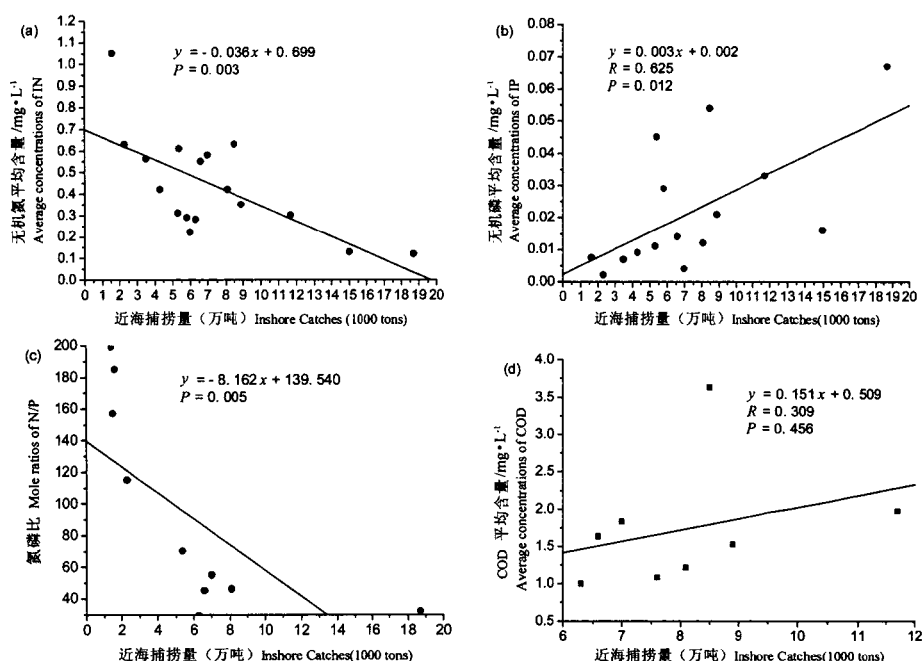


图 9 捕捞量与环境因子的相关性

Fig. 9 Correlation of catches and environmental factors

a) 无机氮 Inorganic nitrogen; b) 无机磷 Inorganic phosphorus; c) 氮磷比 N/P ratio; d) COD.

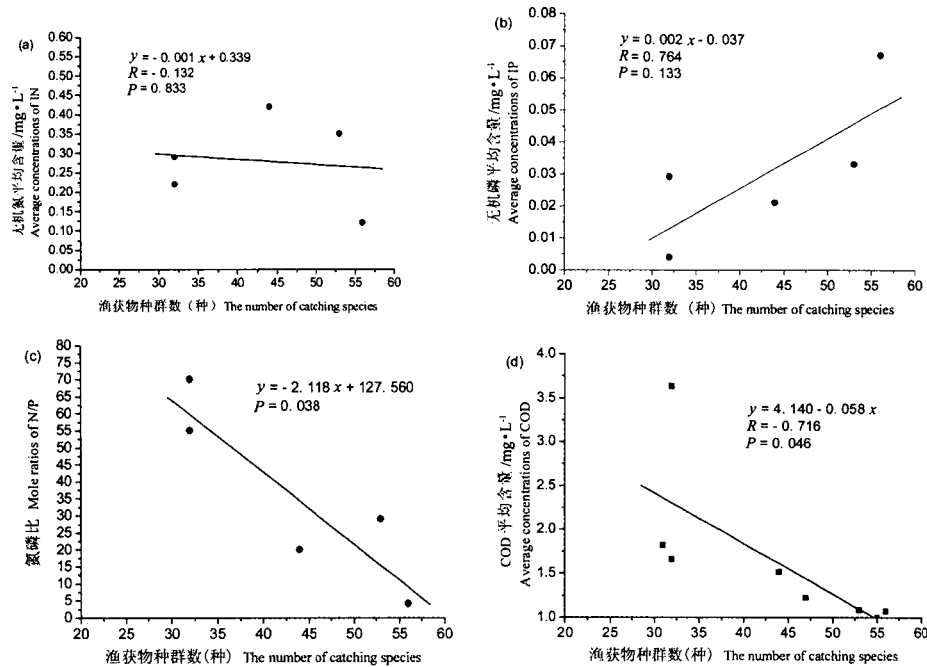


图 10 种数与环境因子的相关性

Fig. 10 Correlation of species number and environmental factors

a) 无机氮 Inorganic nitrogen; b) 无机磷 Inorganic phosphorus; c) 氮磷比 N/P ratio; d) COD.

3 结语

莱州湾无机氮平均含量经历了由低到高的变迁,到 2009 年已超劣四类海水水质标准,处于严重污染状态;无机磷平均含量的呈总体降低趋势;氮磷比除了在上世纪 80 年代初和 90 年代初处于比较合理(接近 16:1)的水平外,其余大部分时段氮磷比偏高,而且有逐年升高的趋势;90 年代大部分时段莱州湾 COD 含量超过了一类海水水质标准,处于中度污染状态;莱州湾受重金属污染不明显,大部分重金属含量低于一类海水水质标准,上世纪 90 年代以前,重金属 Pb 有超标现象,近年来 Cu、Zn 含量有逐年增加趋势。

20 世纪 80 年代末以来磷是限制莱州湾浮游植物生长的限制性营养盐。近几十年来,伴随浮游植物从氮限制转变为磷限制,浮游植物群落已由硅藻占绝对优势逐步演变为硅藻和甲藻共同占优势。硅藻支撑的食物链被削弱,甲藻支撑的食物链被增强,进而导致了莱州湾高营养级渔业资源生物群落的衰退。

莱州湾浮游植物的种数有明显的下降趋势,分别为 1960 年 27 属 65 种,1982 年为 27 属 61 种,1992 年为 25 属 54 种,1998 年为 20 属 45 种,到 2009 年为 20 属 34 种。从 1960 年到 2009 年间,各调查航次的生物多样性指数、丰度系数、均匀度指数均有下降的趋势,尤其是 2009 年降到了最低。从 1960 年到 1997 年,莱州湾浮游植物生物多样性指数都在 1.5~3.5 的正常范围内,1998 年以后生物多样性指数都处于较低水平。除 2002 年均匀度指数有所回升外,在 1982—1998 年间,均匀度指数都较低。说明莱州湾浮游植物的种类在减少,同时优势种的优势度特别明显,1982—1998 年均出现 1~2 种浮游植物占个体数量的 60%~80% 以上的现象。

莱州湾渔获物种数量逐年减少,年均减少速度为 1.5 种;鱼卵、仔稚鱼种类也呈逐年减少趋势,年均减少 0.7 种;单位捕捞努力量渔获量从上世纪 80 年代初到 90 年代末下降趋势明显,1990 年代后期下降趋势更显著,年均降低 10 kg·h⁻¹;近海捕捞量逐年减少,仅潍坊市的近海捕捞量就从 1989 年的 18.7 万 t 减少到 2007 年的 1.7 万 t。与其他因素相比,氮磷比与近海捕捞量存在更显著的相关性($r = -0.743$, $P < 0.05$, $n = 12$),说明氮磷比是影响莱州湾渔业资源总量的关键因素;氮磷比及 COD 含量与渔获物种

群数存在显著相关性(1: $r = -0.899$, $P < 0.05$, $n = 7$; 2: $r = -0.716$, $P < 0.05$, $n = 8$);说明莱州湾渔业资源种群数受有机物污染影响较大。

参考文献

- [1] 郎晓辉,李悦,孔范,等. 莱州湾环境存在的问题及保护对策[J]. 现代农业科技,2011,3: 296-297.
- [2] 邓景耀. 渤海鱼类种类组成及数量分布[J]. 海洋水产研究,1988,9: 11-89.
- [3] 金显仕,唐启升. 渤海渔业资源结构、数量分布及其变化[J]. 中国水产科学,1998,5(3): 18-24.
- [4] 山东省科学技术委员会. 山东省科学技术年鉴[M]. 济南: 山东大学出版社,1990.
- [5] 单志欣,郑振虎. 渤海污染对水产资源的影响[M]. 齐鲁渔业,1996,13(3): 34-36.
- [6] 山东省渔业环境监测站. 1997年莱州湾渔业生态监测[M]. 渔业环境保护,1998,3: 8-12.
- [7] 山东省渔业环境监测站. 2000年莱州湾渔业生态监测[M]. 渔业环境保护,2001,1: 18-22.
- [8] 米铁柱,于志刚,姚庆祯,等. 春季莱州湾南部溶解态营养盐研究[J]. 海洋环境科学,2001,20: 14-18.
- [9] 曲克明,崔毅,幸福言,等. 莱州湾东部养殖水域氮、磷营养盐的分布与变化[J]. 海洋水产研究,2002,23(1): 38-46.
- [10] 高会旺,吴德星,白洁,等. 2000年夏季莱州湾生态环境要素的分布特征[J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版),2000,33(2): 185-191.
- [11] 崔毅,马绍赛,李云平,等. 莱州湾污染及其对渔业资源的影响[J]. 海洋水产研究,2003,24(1): 35-41.
- [12] 万修全,吴德星,鲍献文,等. 2000年夏季莱州湾主要观测要素的分布特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2004,34(1): 7-13.
- [13] 陈立群. 莱州湾海洋环境评价与污染总量控制方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学,2004.
- [14] 国家海洋局,1982~1998. 中国近海环境质量报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社,2011.
- [15] 沈新强,晁敏. 对中国3个渔业水域生态环境质量的综合评价[J]. 海洋水产研究,2005,26(3): 68-72.
- [16] 孙丕喜,王波,张朝晖,等. 莱州湾海水中营养盐分布与富营养化的关系[J]. 海洋科学进展,2006,24: 47-52.
- [17] 夏斌,张晓理,崔毅. 夏季莱州湾及附近水域理化环境及营养现状评价[J]. 渔业科学进展,2009,30(3): 103-111.
- [18] 刘义豪,杨秀兰,靳洋,等. 莱州湾海域营养盐现状及年际变化规律[J]. 渔业科学进展,2011,32(4): 1-5.
- [19] 宋金明. 海洋沉积物中的生物种群在生源物质循环中的功能[J]. 海洋科学,2000,24(4): 34-38.
- [20] 胡宁静,刘季花,黄朋,等. 渤海莱州湾表层沉积物中金属元素分布及环境质量[J]. 海洋学报,2012,34(2): 93-100.
- [21] 王俊. 莱州湾浮游植物种群动态研究[J]. 海洋水产研究,2000,21(3): 33-38.
- [22] 赵亮. 渤海浮游植物生态动力学模型研究[D]. 青岛: 青岛大学,2002.
- [23] 孙军,刘东艳,杨世民,等. 渤海中部和渤海海峡及邻近海域浮游植物群落结构的初步研究[J]. 海洋与湖沼,2002,33(5): 461-471.
- [24] 刘慧,方建光,董双林,等. 莱州湾和桑沟湾养殖海区浮游植物的研究[J]. 海洋水产研究,2003,24(2): 9-17.
- [25] 郝彦菊,王宗灵,朱明远,等. 莱州湾营养盐与浮游植物多样性调查与评价研究[J]. 海洋科学进展,2005,23(2): 197-204.
- [26] 李广楼,陈碧鹃,崔毅,等. 莱州湾浮游植物的生态特征[J]. 中国水产科学,2006,13(3): 292-299.
- [27] 宁璇璇,纪灵,王刚,等. 2009年莱州湾近岸海域浮游植物群落的结构特征[J]. 海洋湖沼通报,2011,3: 97-104.
- [28] 姜言伟,万瑞景. 渤海半滑舌鳎早期形态及发育特征的研究[J]. 海洋水产研究,1988,9: 29-33.
- [29] 万瑞景,姜言伟. 渤海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼分布及其动态变化[J]. 中国水产科学,1998,5(1): 43-50.
- [30] 王平,焦燕,任一平. 莱州湾黄河口水域春季近岸渔获生物多样性特征的调查研究[J]. 海洋湖沼通报,1999,24(5): 40-44.
- [31] 高天翔,张宏义,姜卫蔚,等. 莱州湾东部水域出现的文昌鱼幼体的初步调查[J]. 海洋湖沼通报,2000,3: 20-23.
- [32] 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[J]. 动物学研究,2000,21(1): 76-82.
- [33] 金显仕,邓景耀. 莱州湾春季渔业资源及生物多样性的年际变化[J]. 海洋水产研究,1999,20(1): 6-12.
- [34] 金显仕. 渤海主要渔业生物资源变化的研究[J]. 中国水产科学,2001,7(4): 22-26.
- [35] 许思思,宋金明,袁华茂,等. 渤海中部和渤海海峡及邻近海域浮游植物群落结构的初步研究[J]. 海洋与湖沼,2010,5(6): 93-100.
- [36] 王爱勇,万瑞景,金显仕. 渤海莱州湾春季鱼卵、仔稚鱼生物多样性的年代际变化[J]. 渔业科学进展,2010,31(1): 19-24.
- [37] 潍坊市统计局,1982-2009. 潍坊市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社,2011.
- [38] 苏纪兰,唐启升. 我国海洋生态系统基础研究的发展[J]. 地球科学进展,2005,20(2): 139-143.
- [39] 崔毅,宋云利. 渤海海域营养现状研究[J]. 海洋水产研究,1996,17(1): 56-62.
- [40] Zhang, Y., and F. Zhang. Quantitative study on long-term variation of phytoplankton in Jiaozhou Bay[J], *Oceanologia et Limnologia*, 2004, 16(5): 37-45.
- [41] 蒋红,崔毅,陈碧鹃,等. 渤海近20年来营养盐变化趋势研究[J]. 海洋水产研究,2005,26(6): 35-41.
- [42] 邓慧平,赵明华. 气候变化对莱州湾地区水资源脆弱性的影响[J]. 自然资源学报,2000,16(1): 9-15.
- [43] 朱树屏,郭玉洁. 烟台、威海鲈鱼渔场及其附近海区角毛硅藻属的研究-I. 分类的研究[J]. 海洋与湖沼,1957, 27-87.

- [44] 于志刚,米铁柱,谢宝东,等. 二十年来渤海生态环境参数的演化和相互关系[J]. 海洋环境科学,2000,19(1): 26-31.
[45] 马建新,郑振虎,李云平,等. 莱州湾浮游植物分布特征[J]. 海洋湖沼通报,2002,4: 63-67.

Analysis of Long-Term Changes in Fishery Resources and Environment in the Laizhou Bay

ZHANG Jinfeng^{1,2}, GAO Xuelu¹, ZHUANG Wen¹, LI Peimiao¹, and ZHOU Fengxia¹

- (1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China;
2. School of Chemistry and Materials Science, Ludong University, Yantai 264025 China)

Abstract: Long-term variations of environmental factors, phytoplankton, fishery resources as well as their interactive relationship in the Laizhou Bay were revealed based on the data of the past 30 years. The results showed that: (a) the average concentrations of inorganic nitrogen (IN) in the Laizhou Bay experienced a transition from a low level to a high one, worse than the seawater standard Grade IV of China till 2009; the average concentrations of inorganic phosphorus (IP) demonstrated a decreasing trend, and the mole ratios of nitrogen and phosphorus were higher than Redfield threshold (16) values for most of the time; (2) since the late 1980s, phosphorus had become the nutrient limiting phytoplankton growth in the Laizhou Bay; the species number of phytoplankton was in the reduction trend and the structure of phytoplankton community tended to be simplified; (3) the species number of fishery resources reduced by 1.5 types annually; the species of fish eggs, fish larvae and juveniles reduced by 0.7 types annually; the catches per unit of efforts dropped by 10 kg h⁻¹ annually; the inshore catches declined every year, from 18.7 million tons in 1989 to 1.7 million tons in 2007 only in Weifang City; (4) as the nutrient limiting phytoplankton growth shifted from nitrogen to phosphorus, the dominant phytoplankton community in the Laizhou Bay evolved from diatoms to diatoms and dinoflagellates, and the food chain maintained by diatoms was weakened and the food chain maintained by dinoflagellates was enhanced, resulting in a higher trophic level of recession in fishery resources in the Laizhou Bay; (5) compared with other factors, the mole ratio of nitrogen and phosphorus had more significant correlation with the amount of inshore catches in the Laizhou Bay ($R = -0.743$, $P = 0.003$, $n = 12$); the mole ratio of nitrogen and phosphorus and COD contents had significant correlation with the species number of catches (1: $R = -0.899$, $P = 0.038$, $n = 7$; 2: $R = -0.716$, $P = 0.046$, $n = 8$); the mole ratio of nitrogen and phosphorus may be a controlling factor of the total amount of fishery resources in the Laizhou Bay, while the species number of fishery resources reduced with the increase of COD concentrations.

Key words: Laizhou Bay; inorganic nitrogen; inorganic phosphorus; phytoplankton; fishery resources; correlation