

闽东沿岸生态监控区海洋生态健康评价与变化趋势研究

李益云^{1,2}, 樊立静^{1,2}

(1. 国家海洋局宁德海洋环境监测中心站 宁德 352100; 2. 国家海洋局海洋赤潮灾害立体监测技术与应用重点实验室 上海 200137)

摘要:文章以生态系统健康评价(EHA)为工具,利用2004—2013年以来闽东沿岸生态监控区的监测数据及相关文献资料,对闽东沿岸生态监控区的海洋生态健康状况进行分析评价,分析影响闽东沿岸生态监控区海洋生态健康的主要因子。结果表明:闽东沿岸生态监控区生态环境健康状况基本处亚健康状态,但有进一步恶化的风险,水环境中pH值、氮-磷营养盐含量呈明显上升的趋势;生物质量受到不同程度的污染,贝类体内铅含量显著上升;生物环境处于不健康状态,生物种类数呈减少的趋势。结合闽东沿岸生态监控区存在的问题提出:(1)加强污染物入海总量控制制度,推行节能减排措施;(2)加强生物质量控制,发展蓝色海洋经济;(3)休渔、生态补偿制度相结合,有效利用和保护海洋资源;(4)严格控制围填海工程,保护滩涂湿地;(5)加强海洋环境监测体系建设等建议。

关键词:海洋生态系统;生态系统健康评价;闽东沿岸;生态监控区;亚健康

中图分类号:P73

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2020)01-0062-07

Marine Ecosystem Health Assessment and the Change Trend of Mindong Ecological Monitoring Area, Fujian East Coast, China

LI Yiyun^{1,2}, FAN Lijing^{1,2}

(1. Ning De Marine Environmental Monitoring Center, SOA, Ningde 352100, China; 2. Key Laboratory of Integrated Marine Monitoring and Applied Technologies for Harmful Algal Blooms, SOA, Shanghai 200137, China)

Abstract: The assessment of marine ecosystem health was studied in this paper, by taking the nearshore of Mindong ecological monitoring area as case study, based on the monitoring data from 2004 to 2013, by using the ecosystem health assessment (EHA) method. The main results clarified: the condition of marine ecosystem health was in sub-health state, which was at stable state. But the poor index of marine biology and biological residual toxicity in Mindong ecological monitoring area showed that the ecosystem also faced a risk of further deterioration. Combined with the problems existing in the ecological monitoring area along the east coast of Fujian province, the following suggestions were put forward: strengthening the total amount control system of pollutants entering the sea, implementing energy conservation and emission reduction

measures; strengthening the biological quality control, developing the blue ocean economy; combining the fishing cessation and ecological compensation system, effectively using and protecting the marine resources; strictly controlling the reclamation project, protecting the beach wetland; strengthening the construction of the marine environment monitoring system, etc.

Key words: Marine ecosystem, Ecosystem health assessment, East coast of Fujian province, Ecological monitoring area, Sub-health state

1 概况

闽东沿岸生态监控区地处福建省东北部沿海,范围包括宁德市所辖的福鼎市、霞浦县、福安市、蕉城区沿海近岸海域、滩涂,海岸线长 878 km,总面积为 5 063 km²,覆盖了三沙湾、福宁湾和沙埕港等主要港湾^[1]。该生态监控区是福建省发展海西经济的重要区域,也是福建省宁德市发展环三都澳经济的重要腹地,其海洋生态系统健康状况直接关系到区域可开发利用的空间和未来经济发展的方向。近年来,我国学者在不同的时期对多个海域的生态健康评价进行了大量研究,形成了一批研究成果^[2-4]。闽东沿岸生态监控区自 2004 年设立以来,已严密监控了 10 余年,对该监控区的生态健康状况的变化情况目前还鲜有详细的论述。本研究利用 2004—2013 年的监测数据及相关文献资料,依据“河口及海湾生态系统生态环境健康评价方法”^[5],对闽东沿岸生态监控区的海洋生态系统健康状况进行分析评价。

2 监测站位和评价方法

2.1 监测站位

闽东沿岸生态监控区调查分为浅海海区 and 潮间带调查,其中浅海调查共布设 30 个监测站位,监测项目包括海水水质、海洋生物调查和沉积环境质量调查,调查站位见图 1。

调查按照《海洋监测规范》(GB17378—2007)^[6]以及《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)^[7]的有关内容执行。

2.2 评价方法

本研究应用《近岸海洋生态健康评价指南》(HY/T 087—2005)的指标体系中的河口与海湾生态健康评价模式,对闽东沿岸生态监控区的生态健康状况予以评价。采用曼-肯德尔(Mann-Kendall)检验法对调查海域环境因子^[8-9]和生态健康指数的

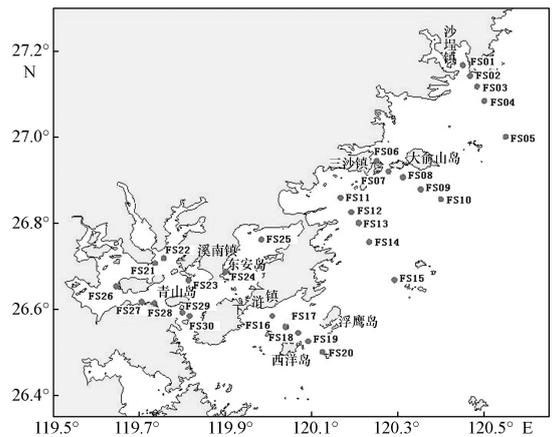


图 1 调查站位

变化趋势进行分析。

评价指标贡献率 = 评价结果 / 指标权重 × 100%

3 监测数据分析

3.1 水环境

2004—2013 年闽东生态监控区海域海水水质每年共调查 2 次,调查时间为每年的 5 月(丰水期)和 8 月(平水期)。

由图 2 可知,5 月 pH 值最低值出现在 2004 年,最高值出现在 2009 年;8 月 pH 值最低值出现在 2010 年,最高值出现在 2008 年,5 月和 8 月 pH 值高低值间差值分别为 0.25 和 0.27。5 月溶解氧的含量前 5 年(2004—2008 年)波动较大,后 5 年趋于平稳(2009—2013 年),最高值出现在 2007 年,最低值出现在 2005 年,差值为 3.52 mg/L;8 月溶解氧含量较为平稳,最高值在 2011 年,最低值在 2013 年,两者相差 1.36 mg/L。近 10 年来活性磷酸盐的变化幅度较大,呈波动起伏的状态,其中 5 月和 8 月最低值均出现在 2007 年,最高值均出现在 2009 年,5 月和 8 月活性磷酸盐高低值间差值分别为 0.011 mg/L 和 0.023 mg/L,其中 2008—2010 年,5 月和 8 月活性磷

酸盐的差值较大,均表现为8月活性磷酸盐含量高于5月,其中2009年的差异最大,差值达0.011 mg/L。无机氮的变化也呈波动状态且幅度也较大,基本上表现为5月的含量要高于8月的含量(2005年、2010年和2012年除外),5月的最高值出现在2007年,最低值出现在2005年,8月的最高值出现在2010年,最低值出现在2007年,2007年5月和8月无机氮含量的差值最大,达0.511 mg/L,其次是2011年(0.277 mg/L)。

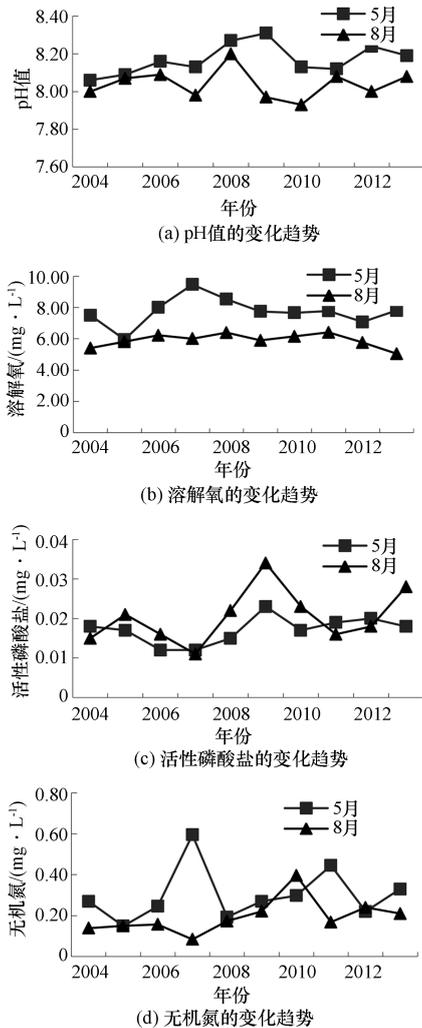


图2 pH值、溶解氧、活性磷酸盐和无机氮的变化趋势

根据 Mann-Kendall 检验结果(表1):2004—2013年溶解氧含量处于稳定的状态,无升高或者降低趋势;其他指标均呈上升的趋势,其中5月的pH值升高趋势比较显著($P < 0.1$),8月活性磷酸盐和无机氮含量表现出十分明显的上升趋势($P < 0.05$)。

表1 水环境评价要素均值的 Mann-Kendall 检验结果

月份	Z值			
	pH	溶解氧	活性磷酸盐	无机氮
5月	1.34*	0	1.16	0.98
8月	0.71	0	2.06**	2.15**

备注:*和**分别表示通过了置信度90%和95%的显著性检验。

3.2 沉积环境

2004—2013年闽东生态监控区海域沉积环境每年调查1次,调查时间为每年的8月(平水期),其中2007年为5月(丰水期),见图3。

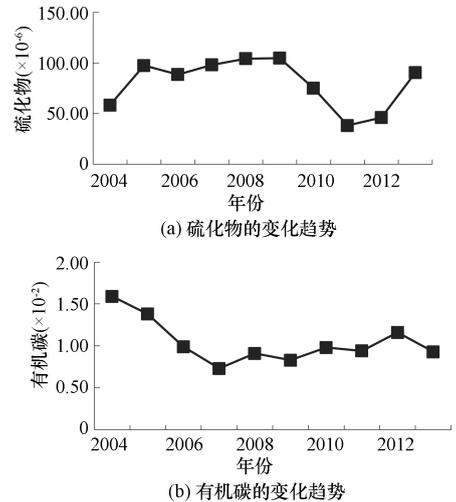


图3 硫化物和有机碳的变化趋势

由图3可知,2004年硫化物的含量较低,2005—2009年含量基本在 $88 \times 10^{-6} \sim 105 \times 10^{-6}$,从2010年开始明显下降,至2011年含量最低,2011—2013年又出现明显上升的趋势;有机碳含量在2004—2007年呈明显下降的趋势,此后表现为波动变化。依据 Mann-Kendall 检验结果,2004—2013年闽东生态监控区海域沉积环境中有机碳的含量呈下降趋势,但未达到显著水平($Z = -0.89$, $P > 0.1$);硫化物含量也呈下降趋势,但未达到显著水平($Z = -0.18$, $P > 0.1$)。

3.3 生物残毒

2007—2013年闽东生态监控区海域生物残毒每年调查1次,调查时间为每年的8月(平水期)。

由图4可知,2007—2010年牡蛎体内石油烃含

量呈上升的趋势,2010—2013 年则呈下降的趋势,最高值出现在 2010 年,最低值出现在 2013 年,两者差值为 24.1 mg/kg。2007—2013 年缢蛏体内石油烃含量呈波动变化,最高值出现在 2010 年,最低值出现在 2007 年,两者差值达 51.05 mg/kg。2007—2013 年牡蛎体内石油烃含量基本高于缢蛏(2009 年和 2011 年除外),两者差值最高达 30.8 mg/kg(2010 年)。牡蛎和缢蛏体内汞含量差异不大且变化趋势基本一致,最高值均出现在 2010 年,最低值均出现在 2009 年。缢蛏体内砷含量均高于牡蛎(2012 年除外),牡蛎体内砷含量最高值出现在 2013 年,最低值出现在 2009 年,两者相差 2.824 mg/kg;缢蛏体内砷含量最高值出现在 2010 年,最低值出现在 2009 年,两者相差 5.137 mg/kg。牡蛎体内镉含量明显高于缢蛏,两者最高值均出现在 2012 年,差值达 1.55 mg/kg,最低值均在 2008 年,两者差值为 0.305 5 mg/kg,2007—2013 年镉含量均呈波动变化。牡蛎和缢蛏体内铅含量变化趋势大体相似,牡蛎体内铅含量 2007—2009 年呈上升趋势,缢蛏体内铅含量从 2007—2010 年呈上升趋势,而后趋于平稳,牡蛎体内铅含量最高值出现在 2013 年,最低值出现在 2007 年和 2008 年,缢蛏体内铅含量最高值出现在 2010 年,最低值出现在 2007 年,牡蛎体内铅含量均低于缢蛏,最高差值达 0.320 mg/kg(2010 年)。由此可见牡蛎对铅的富集能力要低于缢蛏,而缢蛏对砷的富集能力则略高于牡蛎。

采用 Mann-Kendall 趋势检测(表 2),牡蛎和缢蛏体内生物残毒含量均呈上升趋势(牡蛎体内石油烃含量除外),其中牡蛎和缢蛏体内铅的含量呈显著上升的趋势($Z > 1.64, P < 0.05$),牡蛎体内镉和砷的含量也呈明显上升的趋势($Z > 1.28, P < 0.1$)。

表 2 生物残毒评价要素均值的 Mann-Kendall 检验结果

生物	Z 值				
	石油烃	汞	砷	铅	镉
牡蛎	0	0.75	1.35*	1.65**	1.35*
缢蛏	1.05	0.75	1.20	1.80**	1.20

备注: * 和 ** 分别表示通过了置信度 90% 和 95% 的显著性检验。

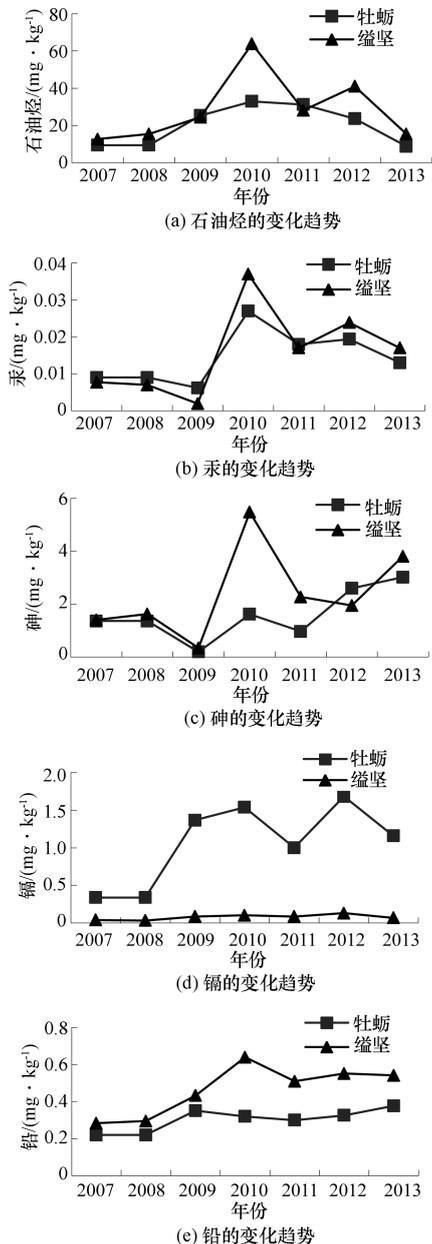


图 4 石油烃、汞、砷、镉和铅的变化趋势

3.4 生物

2004—2013 年闽东生态监控区海域生物(包括浮游植物、浮游动物、鱼卵仔稚鱼、大型底栖生物)调查与水质同步。

浮游植物种类数最低值出现在 2005 年,最高值出现在 2008 年;浮游动物种类数最高值出现在 2007 年,最低值出现在 2013 年;浅海底栖生物种类数最高值出现在 2004 年,最低值出现在 2012 年(图 5)。依据 Mann-Kendall 检验结果,2004—2013 年闽东生态监控区海域浮游植物种类数呈上升趋势,

但未达到显著水平 ($Z = 0.09, P > 0.1$); 浮游动物种类数明显呈下降趋势 ($Z = -2.15, P < 0.05$); 浅海底栖生物种类数则呈十分明显的下降趋势 ($Z = -2.42, P < 0.01$)。

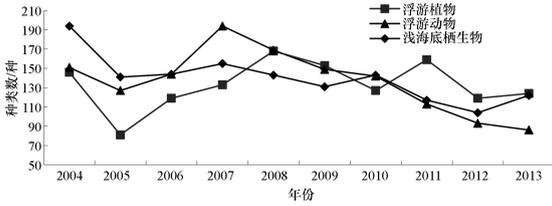


图5 浮游植物、浮游动物、浅海底栖生物种类数变化趋势

4 评价结果分析及讨论

水环境、沉积环境、生物残毒、生物等评价指标的评价结果及贡献率分别见表3和表4。

当 $5 \leq W_{\text{indr}} < 8$ 时, 水环境为不健康状态; 当 $8 \leq W_{\text{indr}} < 11$ 时, 水环境为亚健康状态; 当 $11 \leq W_{\text{indr}} \leq 15$ 时, 水环境为健康状态。

当 $1 \leq S_{\text{indr}} < 3$ 时, 沉积环境为不健康状态; 当 $3 \leq S_{\text{indr}} < 7$ 时, 沉积环境为亚健康状态; 当 $7 \leq S_{\text{indr}} \leq 10$ 时, 沉积环境为健康状态。

当 $1 \leq BR_{\text{indr}} < 4$ 时, 生物体环境受到污染; 当 $4 \leq BR_{\text{indr}} < 7$ 时, 生物体环境受到轻微污染; 当 $7 \leq BR_{\text{indr}} \leq 10$ 时, 生物体环境未受到污染。

当 $10 \leq B_{\text{indr}} < 20$ 时, 生物处于不健康状态; 当 $20 \leq B_{\text{indr}} < 35$ 时, 生物处于亚健康状态; 当 $35 \leq B_{\text{indr}} \leq 50$ 时, 生物处于健康状态。

表3 海湾生态健康评价模式各生态评价指标评价结果

年份	W_{indr}	S_{indr}	BR_{indr}	B_{indr}
2007	13.26	9.87	8.47	14.25
2008	13.52	10.00	8.47	15.72
2009	12.11	9.80	7.00	14.02
2010	11.60	10.00	5.65	17.99
2011	12.79	10.00	6.75	16.06
2012	12.52	9.80	6.40	19.39
2013	11.68	10.00	7.07	14.21

表4 各生态评价指标贡献率统计表

指标	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	平均
W_{indr}	88.4	90.1	80.7	77.3	85.3	83.5	77.9	83.3
W_{pH}	100.0	100.0	96.3	100.0	100.0	100.0	90.2	98.1
$W_{\text{溶解氧}}$	88.9	93.9	90.9	90.0	100.0	84.7	73.6	88.9
$W_{\text{活性磷酸盐}}$	90.1	82.2	62.4	70.5	79.7	75.1	78.7	77.0
$W_{\text{无机氮}}$	74.7	84.5	73.3	48.9	61.6	74.0	69.0	69.4
S_{indr}	98.7	100.0	98.0	100.0	100.0	98.0	100.0	99.2
$S_{\text{有机碳}}$	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.4	100.0	99.6
$S_{\text{硫化物}}$	97.4	100.0	95.9	100.0	100.0	98.7	100.0	98.9
BR_{indr}	84.7	84.7	70.0	56.5	67.5	64.0	70.7	71.2
BR_{Hg}	97.9	97.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4
BR_{Cd}	89.7	89.6	50.0	52.5	62.5	68.3	68.3	68.7
BR_{Pb}	75.0	75.0	50.0	50.0	50.0	58.3	50.0	58.3
BR_{As}	62.9	62.9	100.0	40.0	75.0	50.0	43.3	62.0
$BR_{\text{石油烃}}$	97.9	97.9	50.0	40.0	50.0	43.3	91.7	67.3
B_{indr}	28.5	31.4	28.0	36.0	32.1	38.8	28.4	31.9
$B_{\text{浮游植物密度}}$	20.0	22.0	34.4	38.5	26.2	28.2	21.1	27.2
$B_{\text{浮游动物密度}}$	31.0	54.0	31.3	41.5	35.4	41.5	49.5	40.6
$B_{\text{浮游动物生物量}}$	36.0	41.0	35.4	29.2	20.0	38.5	22.1	31.7
$B_{\text{鱼卵及仔鱼密度}}$	22.0	22.7	20.0	22.5	25.0	25.0	20.0	22.5
$B_{\text{底栖动物密度}}$	21.0	22.0	22.1	49.7	43.6	54.9	32.6	35.1
$B_{\text{底栖动物生物量}}$	41.0	27.0	25.1	34.4	42.6	44.6	25.3	34.3

4.1 水环境

2007—2013 年闽东沿岸生态监控区全年水环境均处于健康状态。其中 2007 年和 2008 年健康指数较高,2010 年和 2013 年健康指数略低,Mann-Kendall 检验呈下降趋势,但未达到显著水平($Z = -1.20, P > 0.1$)。总体上 4 个评价指标中 W_{pH} 的贡献率最高, $W_{无机氮}$ 的贡献率最低, $W_{溶解氧}$ 的贡献率也高于 $W_{活性磷酸盐}$ (图 6)。

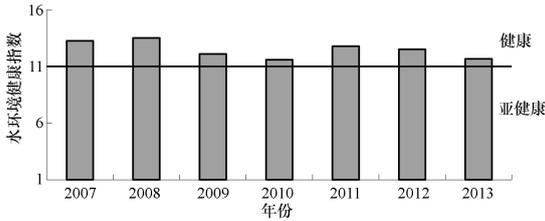


图 6 水环境健康指数

4.2 沉积环境

由表 3 和图 7 可知,2007—2013 年闽东沿岸生态监控区全年沉积环境均处于健康状态,且健康指数均较高。其中 2008 年、2010 年、2011 年和 2013 年健康指数达到评价最高值,Mann-Kendall 检验呈上升趋势,但未达到显著水平($Z = 0.15, P > 0.1$)。总体上两个评价指标中 $S_{有机碳}$ 的贡献率较高。

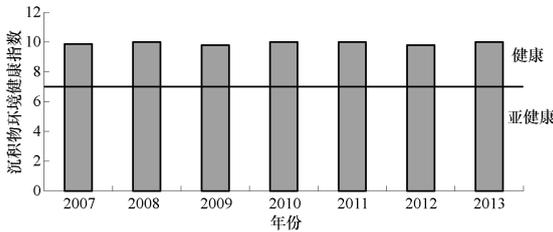


图 7 沉积环境健康指数

4.3 生物残毒

2007—2009 年和 2013 年生物残毒指数均大于或等于 7,环境未受到污染;2010—2012 年生物残毒指数在 4 和 7 之间,表明生物体环境受到了轻微污染(表 3 和图 8)。Mann-Kendall 检验呈下降趋势,但未达到显著水平($Z = -1.05, P > 0.1$)。5 个评价指标中 BR_{Hg} 的贡献率最高,顺序依次为 $BR_{Hg} > BR_{Cd} > BR_{石油类} > BR_{As} > BR_{Pb}$ 。

4.4 生物

由表 3 和图 9 可知,2007—2013 年生物健康指

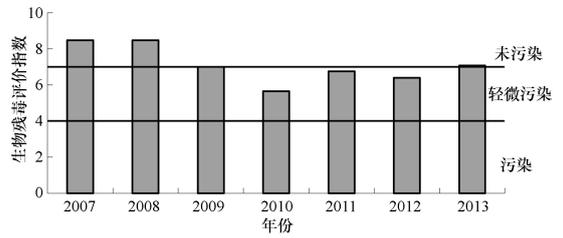


图 8 生物残毒评价指数

数均小于 20,生物处于不健康状态。Mann-Kendall 检验呈上升趋势,但未达到显著水平($Z = 0.60, P > 0.1$)。6 个评价指标中 $B_{浮游动物密度}$ 的贡献率较高,由高到低依次为 $B_{浮游动物密度}$ 、 $B_{底栖动物密度}$ 、 $B_{底栖动物生物量}$ 、 $B_{浮游动物生物量}$ 、 $B_{浮游植物密度}$ 、 $B_{鱼卵及仔鱼密度}$ 。

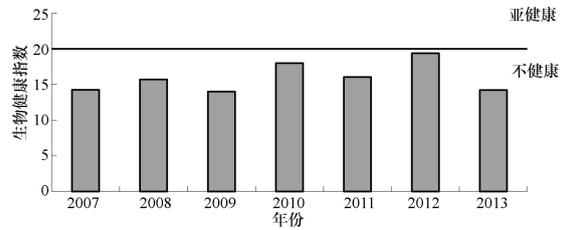


图 9 生物健康指数

4.5 生态健康评价

2007—2013 年($W_{indr} + S_{indr} + BR_{indr} + B_{indr}$)之和的 Mann-Kendall 检验结果 Z 值为 0,该值未表现出上升或下降的趋势,呈基本稳定状态。各评价指标的贡献率由大到小依次为 S_{indr} 、 W_{indr} 、 BR_{indr} 、 B_{indr} ,依据《近岸海洋生态健康评价指南》中河口与海湾生态健康评价模式的计算方法和指标权重计算,总体上 2007—2013 年的 CEH_{indr} 均 < 75 ,表明生态系统处于亚健康或者不健康状态。结合历年《中国海洋环境质量公报》^[10] 公布的结果来看,2004—2013 年闽东沿岸生态监控区均处于亚健康状态,本研究的计算结果与该结论一致。

5 结论、管理对策和建议

5.1 结论

通过近 10 年来开展的相关调查项目的结果进行比较,闽东沿岸生态监控区生态环境基本稳定,但有进一步恶化的风险,主要体现在以下几方面。

(1)水环境:同季度 pH 值呈上升的趋势,尤其表现在 5 月;平水期(8 月)氮和磷营养盐含量上升

趋势明显,富营养化的潜在风险较高。

(2)生物残毒:生物体受到了不同程度的污染,监控区内贝类生物残毒含量呈上升的趋势,其中牡蛎体内镉和砷的含量上升较明显,值得注意的是贝类体内铅含量显著上升。

(3)海洋生物:生物环境处于不健康状态,生物种类数呈减少的趋势。鱼卵、仔稚鱼的密度仍然较低,未出现明显恢复的趋势;浮游植物优势种常出现甲藻,甚至出现甲藻类赤潮。

5.2 管理对策和建议

影响生态系统健康的因素有:污染物排放、非点源污染、过度捕捞、围海造地、水土流失、外来物种入侵、资源不合理利用等^[11]。结合闽东沿岸生态监控区存在的问题提出以下对策和建议。

(1)加强污染物入海总量控制制度,推行节能减排措施。落实陆源污染物排海控制和治理责任,强化陆源污染监管,严格控制海上污染源。同时,加快城镇污水处理能力建设,加大污水脱磷除氮力度,严格控制氮、磷污染物入海量。

(2)加强生物质量控制,发展蓝色海洋经济。闽东沿岸生态监控区鱼类网箱养殖区主要污染物为 DDTs、汞和砷,鱼类网箱养殖区养殖鱼类受到 DDTs 的污染^[1]。贝类体内铅含量也存在显著增加的趋势,因此加强海洋生物质量控制已经刻不容缓,渔业养殖过程中应全面禁用含有毒有害物质的药物,实施 HACCP 制度,同时要建设现代化的海洋产业体系,大力推进清洁生产工艺,以避免有毒有害物质在生物体内富集,保护人类身体健康和生态安全。

(3)休渔、生态补偿制度相结合,有效利用和保护海洋资源。严格执行《中华人民共和国渔业法》,对浅海、滩涂、保护区实行休渔制度,划定禁捕区,规定禁捕期,加强渔具渔法管理,改变传统的渔猎方式,减轻捕捞强度,加强渔业资源养护和恢复。同时坚持“谁开发谁保护,谁受益谁补偿”的生态补偿机制原则。

(4)严格控制围填海工程,保护滩涂湿地。围填海对生态环境有着不可逆的影响,导致天然湿地缩减、侵占海洋生物的天然栖息地;改变海洋生物栖息地的水文、底质状况,破坏海洋生物生态系统;海湾纳潮量和潮流速降低,航道和港池淤积,影响航运能力和建港条件等。因此,应严格按照《福建省沿海滩涂围垦规划(2001—2020年)》审批用海,防止盲目、无序的围垦而造成生态环境的破坏。

(5)加强海洋环境监测体系建设。建立和完善海洋环境监测体系,加强近岸海域环境的监控能力建设,逐步建成近岸海域环境监测网站,采用遥感等高新技术,建立近岸海域环境信息系统,加强近岸海域环境变化趋势的预测预报。

参考文献

- [1] 欧文霞.闽东沿岸海洋生态监控区生态系统健康评价与管理研究.[D]厦门:厦门大学,2006.
- [2] 杨建强,崔文林,张洪亮,等.莱州湾西部海域海洋生态系统健康评价的结构功能指标法.[J].海洋通报,2003,22(5):58—63.
- [3] 蔡爱萍,洪雄业,杨玉波.福建省近岸海域海洋生态健康评价与分析[J].海峡科学,2011(12):30—34.
- [4] 李虎,宋秀贤,俞志明,等.山东半岛近岸海域生态系统健康综合评价[J].海洋科学,2014,38(10):40—45.
- [5] 国家海洋局.HY/T087—2005,海洋行业规范.《近岸海洋生态健康评价指南》[S].大连:国家海洋环境监测中心,2005.
- [6] 国家海洋局.GB 17378—2007 海洋监测规范[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [7] 国家海洋局.GB 17378—2007 海洋监测规范[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [8] GILBERT RO.Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring[M].New York:Van Nostrand Reinhold Co.,1987.
- [9] SALMI T,MAATTA A,ANTTILA P, et al.Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates the Excel Template Application MAKESENS[M].Helsinki:Finnish Meteorological Institute,2002.
- [10] 国家海洋局.中国海洋环境质量公报[Z].2004—2013年.
- [11] 马克明,孔红梅,关文彬,等.生态系统健康评价:方法与方向[J].生态学报,2001,21(12):2106—2116.