

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T XXXXX—XXXX

北极海洋生态系统评价指南

Guideline for arctic marine ecosystem assessment

(报批稿)

(本稿完成日期：2018年12月12日)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

自然资源部

发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 评价指标体系	2
5 调查与计算方法	3
6 评价方法	9
附录 A（资料性附录） 中国第四次北极科学考察数据	13
参考文献	14

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由自然资源部提出。

本标准由全国海洋标准化技术委员会海洋生物资源开发与保护分技术委员会（SAC/TC 283/SC6）归口。

本标准起草单位：自然资源部第三海洋研究所、中国极地研究中心、自然资源部第二海洋研究所、自然资源部第一海洋研究所、国家海洋环境监测中心。

本标准主要起草人：林龙山、陈波、高众勇、李宏亮、刘焱光、那广水、郑森林、李海、张然、宋普庆、林和山、王雨、康建华、马志远、祁第、孙恒、何剑峰、李渊、杨志金、妙星、黄丁勇、戴宇飞、吴福星。

北极海洋生态系统评价指南

1 范围

本标准规定了北极海洋生态系统中海水化学环境、沉积物环境和海洋生物的评价指标体系、调查与计算方法、评价方法。

本标准适用于利用中国北极科学考察数据对北冰洋及其毗邻海域相关指标的趋势性变化评价,利用其它北极调查数据时亦可参考。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 3947—1996 声学名词术语
- GB/T 12763.4—2007 海洋调查规范 第4部分:海水化学要素调查
- GB/T 12763.6—2007 海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查
- GB/T 15919—2010 海洋学术语 海洋生物学
- GB 17378.4—2007 海洋监测规范 第4部分:海水分析
- GB 17378.5—2007 海洋监测规范 第5部分:沉积物分析
- GB/T 26411—2010 海水中16种多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法
- HY/T 147.2—2013 海洋监测技术规程 第2部分:沉积物
- HY/T 196—2015 海水总溶解无机碳的测定 非色散红外吸收法
- HY/T 197—2015 海水总碱度的测定 敞口式电位滴定法

3 术语和定义

GB/T 3947—1996、GB/T 15919—2010 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海洋生态系统 marine ecosystem

一定海域内生物群落与周围环境相互作用构成的自然系统,具有相对稳定功能并能自我调控的生态单元。

[GB/T 12763.9—2007, 定义 3.1]

3.2

海水酸化 ocean acidification

由于人为排放二氧化碳持续增加,海洋从大气中吸收的二氧化碳增多,导致海水酸碱度降低的现象。

3.3

文石饱和度 aragonite saturation level

海水中 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 离子浓度的乘积与文石溶度积的比值。

3.4

海水低氧 hypoxia in the sea water

海水中溶解氧浓度小于 2 mg/L 的现象。

3.5

哈坎森潜在生态危害指数 Hakanson potential ecological index

表征沉积污染物对生态环境的潜在危害程度。

3.6

内梅罗综合污染指数 Nemerow index

一种兼顾极值或称突出最大值的计权型多因子环境质量指数。

4 评价指标体系

本标准包括海水化学环境、表层沉积物环境和海洋生物等评价指标，评价指标体系分为一级指标、二级指标、三级指标三个层次，见表 1。

表1 北极海洋生态系统评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位
海水化学环境	碳酸盐体系	pH 值	无单位
		总碱度 (TAlk)	$\mu\text{mol/kg}$
		总溶解无机碳 (DIC) 含量	$\mu\text{mol/kg}$
		二氧化碳分压 ($p\text{CO}_2$)	Pa
	营养盐	溶解无机氮 (DIN)	$\mu\text{mol/L}$
		磷酸盐 ($\text{PO}_4\text{-P}$)	$\mu\text{mol/L}$
		硅酸盐 ($\text{SiO}_3\text{-Si}$)	$\mu\text{mol/L}$
	海水低氧	溶解氧 (DO)	mg/L
海洋酸化	文石饱和度 ($\Omega_{\text{文石}}$)	无单位	
海洋碳汇	海-气 CO_2 通量	$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	
有机污染物	石油类、多环芳烃 (PAHs)	石油类为 mg/L, 多环芳烃为 $\mu\text{g/L}$	
沉积物环境	有机质	有机碳 (TOC)	%
	有机污染物	石油类、多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯 (PCBs)	$\mu\text{g/g}$
	重金属	汞 (Hg)、砷 (As)、铜 (Cu)、铅 (Pb)、锌 (Zn)、镉 (Cd)、铬 (Cr)、镍 (Ni)	$\mu\text{g/g}$
海洋生物	叶绿素	叶绿素 a 浓度	mg/m^3
	生产力	初级生产力	$\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$
	浮游植物	丰度	cells/L
		优势种	无单位
		丰富度指数 (d)	无单位
		多样性指数 (H')	无单位
		均匀度指数 (J')	无单位
		群落演变速率	无单位
	浮游动物	丰度	$\text{ind.}/\text{m}^3$
		生物量	mg/m^3
		丰富度指数 (d)	无单位
		多样性指数 (H')	无单位
		均匀度指数 (J')	无单位
群落演变速率		无单位	

表 1（续）

一级指标	二级指标	三级指标	单位
海洋生物	大型底栖生物	密度	ind./m ²
		生物量	g/m ²
		优势种	无单位
		丰富度指数 (<i>d</i>)	无单位
		多样性指数 (<i>H'</i>)	无单位
		均匀度指数 (<i>J'</i>)	无单位
		群落演变速率	无单位
	鱼类	密度	ind./km ²
		生物量	kg/km ²
		优势种	无单位
		丰富度指数 (<i>d</i>)	无单位
		多样性指数 (<i>H'</i>)	无单位
		均匀度指数 (<i>J'</i>)	无单位
		群落演变速率	无单位

5 调查与计算方法

5.1 海水化学环境

5.1.1 调查方法

5.1.1.1 碳酸盐体系

pH 的调查方法应按照 GB/T 12763.4—2007 中 6.5 的要求；总碱度 (TA1k) 的测定应按照 HY/T 197—2015 中第 8 章和第 9 章的要求；总溶解无机碳 (DIC) 的测定应按照 HY/T 196—2015 中第 8 章和第 9 章的要求；二氧化碳分压 ($p\text{CO}_2$) 采用测量与连续流动海水平衡的空气中二氧化碳分压的调查方法。

5.1.1.2 营养盐

营养盐中硝酸盐的调查方法应按照 GB/T 12763.4—2007 中第 11 章的要求，磷酸盐的调查方法应按照 GB/T 12763.4—2007 中第 9 章的要求，硅酸盐的测定应按照 GB/T 12763.4—2007 中第 8 章的要求。

5.1.1.3 溶解氧

海水低氧状态以海水溶解氧浓度为评价依据，溶解氧调查方法应按照 GB/T 12763.4—2007 中第 5 章的要求。

5.1.1.4 海洋酸化

利用海水中碳酸钙饱和度来衡量，碳酸钙饱和度的调查方法通过测定海水中的 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 离子浓度来获得。

5.1.1.5 海洋碳汇

海洋碳汇以海—气 CO_2 通量作为评价依据，负值代表碳汇，正值代表碳源。海—气 CO_2 通量是依据界面传质的液膜扩散理论基于走航观测的 $p\text{CO}_2$ 数据进行估算。

5.1.1.6 有机污染物

海水中油类的调查方法应按照 GB 17378.4—2007 中 13.1 的要求,多环芳烃的调查方法应按照 GB/T 26411—2010 中第 7 章的要求。

5.1.2 计算方法

5.1.2.1 碳酸盐体系

pH 的测定应按照 GB/T 12763.4—2007 中 6.6 和 6.7 的要求;总碱度的测定应按照 HY/T 197—2015 中第 8 章和第 9 章的要求;总溶解无机碳的测定应按照 HY/T 196—2015 中第 8 章和第 9 章的要求;二氧化碳分压 ($p\text{CO}_2$) 的计算方法是海水与大气中的 CO_2 达到水-气平衡时的总压力与其所占摩尔分数比例的乘积。

5.1.2.2 营养盐

营养盐中硝酸盐的测定应按照 GB/T 12763.4—2007 中第 11 章的要求,磷酸盐的测定应按照 GB/T 12763.4—2007 中第 9 章的要求,硅酸盐的测定应按照 GB/T 12763.4—2007 中第 8 章的要求。

5.1.2.3 海水低氧

以溶解氧 (DO) 参数 i 在第 j 点的标准指数作为海水低氧的指标,按照公式 (1) 计算:

$$S_{DOi, DOj} = C_{DOi, DOj} / C_{si} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

$S_{DOi, j}$ ——DO 水质评价因子 i 在第 j 取样点的标准指数;

$C_{DOi, j}$ ——DO 评价因子 i 在第 j 取样点的实测浓度,单位为毫克每升 (mg/L);

C_{si} ——DO 评价因子 i 的评价标准,标准值为 2 mg/L。

5.1.2.4 海洋酸化

以碳酸钙饱和度 (Ω) 作为海水酸化指标,其中 Ω 包括文石饱和度 ($\Omega_{\text{文石}}$) 和方解石饱和度 ($\Omega_{\text{方解石}}$),由于文石的溶解度比方解石高,特别定义 $\Omega_{\text{文石}} < 1$ 的海水为腐蚀性水。碳酸钙饱和度通过 Ca^{2+} 浓度和 CO_3^{2-} 浓度乘积,除以溶度积计算获得,即 $\Omega = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}] / K_{\text{sp}}$ 。其中, K_{sp} 为受控与现场温度、盐度和压力下文石溶度积,单位为摩尔每千克 (mol/kg); Ca^{2+} 浓度值通过水样实际测量获得; CO_3^{2-} 浓度按照公式 (2) 计算:

$$\text{CO}_3^{2-} = \frac{\text{DIC} \cdot K_1 \cdot K_2}{K_1 \cdot [\text{H}^+]^2 + [\text{H}^+]^2 + K_1 \cdot K_2} \dots \dots \dots (2)$$

式中:

K_1 ——碳酸一级电离平衡的电离常数;

K_2 ——碳酸二级电离平衡的电离常数;

DIC ——海水样品的总溶解无机碳含量,单位为微摩尔每千克 ($\mu\text{mol/kg}$)。

5.1.2.5 海洋碳汇

以海-气 CO₂ 通量作为指标，海-气 CO₂ 通量按照公式 (3) 计算：

$$F = k \cdot \alpha \cdot (\rho_{CO_2W} - \rho_{CO_2a}) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

F ——海-气 CO₂ 交换通量，单位为毫摩尔每平方米每天 (mmol/ (m² · d)) ；

k ——海-气 CO₂ 交换速率，单位为厘米每小时 (cm/h) ；

α ——某温盐条件下海水中 CO₂ 的溶解度，单位为摩尔每升每帕 (mol/ (L · Pa)) ；

ρ_{CO_2W} ——表层海水中 CO₂ 的分压，单位为帕 (Pa) ；

ρ_{CO_2a} ——大气中 CO₂ 的分压，单位为帕 (Pa) 。

5.1.2.6 有机污染物

以有机污染物指数作为指标，油类的测定应按照 GB 17378.4—2007 中 13.1 的要求，多环芳烃的测定方法应按照 GB/T 26411—2010 中第 8 章和第 9 章的要求。

采用单因子指数计算海水中各类有机污染物的污染指数，按照公式 (4) 计算：

$$P_i = C_i / S_i \dots\dots\dots (4)$$

式中：

P_i ——有机污染物 i 的污染指数；

C_i ——有机污染物 i 的浓度，石油类单位为毫克每升 (mg/L)，多环芳烃单位为微克每升 (μg/L) ；

S_i ——有机污染物 i 的水质标准值，石油类标准值为 0.05 mg/L，多环芳烃标准值为 0 μg/L。

5.2 沉积物环境

5.2.1 调查方法

利用表层沉积物中有机质含量 (有机碳)、有机污染物 (石油类、多环芳烃、多氯联苯) 和典型重金属 (汞、砷、铜、铅、锌、镉、铬、镍) 作为沉积物环境的表征指标。其中，有机碳的调查方法应按照 GB 17378.5—2007 中第 18 章的要求，石油类的调查方法应按照 GB 17378.5—2007 中第 13 章的要求，多环芳烃的调查方法应按照 HY/T 147.2—2013 中第 7 章的要求，多氯联苯的调查方法应按照 GB 17378.5—2007 中第 15 章的要求，典型重金属的调查方法应按照 HY/T 147.2—2013 中第 6 章的要求。

5.2.2 计算方法

5.2.2.1 哈坎森潜在生态危害指数 (RI)

本指数适用于重金属，按照公式 (5) 计算：

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C_{RHi} / C_n^i \dots\dots\dots (5)$$

式中：

RI ——潜在生态危害指数；

C_f^i ——第*i*种重金属的污染指数；

C_{Rfi} ——各样品沉积物中第*i*种重金属的实测浓度，单位为微克每克（ $\mu\text{g/g}$ ）；

C_n^i ——第*i*种重金属在当地沉积物中的背景浓度，单位为微克每克（ $\mu\text{g/g}$ ）；

T_r^i ——第*i*种重金属的毒性响应系数，反映各种重金属元素毒性水平和生物对其污染的敏感程度。

5.2.2.2 内梅罗综合污染指数 (NI)

本指数适用于有机碳和有机污染物，按照公式（6）计算：

$$NI = \sqrt{\frac{(P_{Ni})_{\max}^2 + (P_{Ni})_{\text{ave}}^2}{2}} = \sqrt{\frac{(C_{Ni}/S_{Ni})_{\max}^2 + (C_{Ni}/S_{Ni})_{\text{ave}}^2}{2}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

NI ——沉积环境综合质量指数；

P_{Ni} ——污染物*i*的污染指数；

C_{Ni} ——污染物*i*的实测值，单位为微克每克（ $\mu\text{g/g}$ ）；

S_{Ni} ——污染物*i*的评价标准或参考值，石油类标准值为 500 $\mu\text{g/g}$ ，多氯联苯标准值为 0.02 $\mu\text{g/g}$ ，多环芳烃标准值为 0.35 $\mu\text{g/g}$ ；

$(P_{Ni})_{\max}$ ——参评污染物中最大污染物的污染指数；

$(P_{Ni})_{\text{ave}}$ ——参评污染物的算术平均污染指数。

5.3 海洋生物

5.3.1 调查方法

海洋生物指标中，叶绿素 *a*、初级生产力、浮游植物的调查方法应按照 GB/T 12763.6—2007 中第 5 章的要求；浮游动物的调查方法规定为网具网口面积 0.5 m^2 、网目 500 μm 、网长 2.8 m，其余按照 GB/T 12763.6—2007 中第 8 章的要求；大型底栖生物的调查方法规定为网具网长 9 m、网口面积 1.43 m^2 、囊网网目 10 mm，其余按照 GB/T 12763.6—2007 中第 10 章的要求；鱼类的调查方法规定为网具网长 9 m、网口面积 1.43 m^2 、囊网网目 10 mm，其余按照 GB/T 12763.6—2007 中第 14 章的要求。

5.3.2 计算方法

5.3.2.1 优势度

浮游植物群落、浮游动物群落、底栖生物群落和鱼类的优势种以优势度大小表达，优势度按照公式（7）计算：

$$D_i = (n_i / N) \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

式中：

D_i ——第 i 种的百分比优势度；

n_i ——某群落中第 i 种的数量；

N ——某群落中所有种的数量。

5.3.2.2 丰富度指数

采用 Margalef 种类丰富度指数表达：

——浮游植物群落、浮游动物群落、底栖生物群落的丰富度指数按照公式（8）计算：

$$d = (S_A - 1) / \log_2 N_A \dots \dots \dots (8)$$

式中：

d ——丰富度指数；

S_A ——某群落中的总物种数；

N_A ——某群落中生物总个体数。

——鱼类的丰富度指数按照公式（9）计算：

$$d = (S_B - 1) / \ln N_B \dots \dots \dots (9)$$

式中：

d ——丰富度指数；

S_B ——鱼类的总物种数；

N_B ——鱼类的总个体数。

5.3.2.3 多样性指数

采用 Shannon-Wiener 多样性指数表达：

——浮游植物群落、浮游动物群落、底栖生物群落按照公式（10）计算：

$$H' = - \sum_{i=1}^{S_A} P_{Ai} \log_2 P_{Ai} \dots \dots \dots (10)$$

式中：

H' ——物种多样性指数；

P_{Ai} ——某群落中第 i 种的数量或重量占样品总数量之比值；

S_A ——某群落中的总物种数。

——鱼类按照公式（11）计算：

$$H' = -\sum_{i=1}^{S_B} P_{Bi} \ln P_{Bi} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

H' ——物种多样性指数；

P_{Bi} ——鱼类中第*i*种的数量或重量占样品总数量之比值；

S_B ——鱼类的总物种数。

5.3.2.4 均匀度指数

采用 Pielou 均匀度指数表达：

——浮游植物群落、浮游动物群落、底栖生物群落按照公式（12）计算：

$$J' = H' / \log_2 S_A \dots\dots\dots (12)$$

式中：

J' ——均匀度指数；

H' ——某群落中的物种多样性指数；

S_A ——某群落中的总物种数。

——鱼类按照公式（13）计算：

$$J' = H' / \ln S_B \dots\dots\dots (13)$$

式中：

J' ——均匀度指数；

H' ——鱼类的物种多样性指数；

S_B ——鱼类的总物种数。

5.3.2.5 群落演变

采用演变速率指标评价：

——演变速率（ E ）按照公式（14）计算：

$$E = 1 - S_{IMi} / S_{IMO} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

S_{IMi} ——时间尺度上第*i*群落的相似性指数；

S_{IMO} ——初始群落第*i*群落的相似性指数；

E 值介于 0~1 之间， $E=0$ 表示两个群落结构完全相同，没有发生演变； $0 < E < 1$ ，表示两个群落的结构发生部分改变； $E=1$ 表示两个群落结构完全不同，没有共同种，发生完全演变。

——相似性指数按照公式（15）计算：

$$S_{IM} = 2 \frac{N_{coi}}{S_{Eo} + S_{Ei}} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

N_{coi} —— $N_{coi} = \sum_{j=1}^n \min(N_{coo}, N_{coi})$ (n ——第*i*时刻和初始群落共有的物种数)，表示初始群落和

时间尺度上第*i*时刻群落共有种的个体数较小者之和；

S_{Eo} ——初始群落的物种数；

S_{Ei} ——第*i*群落的物种数。

6 评价方法

6.1 海水化学环境评价

6.1.1 碳酸盐体系评价

以海水化学参数 pH、TA1k、DIC、 pCO_2 为指标，以最原始本底资料调查结果为参考（若无法查到最原始资料，可以中国第四次北极科学考察数据为参考），计算其变化幅度作为评价结果。

变化幅度按照公式（16）计算：

$$CR = ((CC_i - CC_0) / CC_0) \times 100\% \dots\dots\dots (16)$$

式中：

CR ——碳酸盐体系各指标变化幅度；

CC_i ——碳酸盐体系各指标现状值；

CC_0 ——碳酸盐体系各指标参考值。

评价标准可分为较小变化（I）、中等变化（II）和较大变化（III）3个等级，见表2。

表2 碳酸盐体系评价标准

序号	指标	I	II	III
1	pH 变化	$\Delta \text{pH} \leq 0.5\%$	$0.5\% < \Delta \text{pH} \leq 1\%$	$\Delta \text{pH} > 1\%$
2	TA1k 变化	$\Delta \text{TA1k} \leq 5\%$	$5\% < \Delta \text{TA1k} \leq 12\%$	$\Delta \text{TA1k} > 12\%$
3	DIC 变化	$\Delta \text{DIC} \leq 1\%$	$1\% < \Delta \text{DIC} \leq 6\%$	$\Delta \text{DIC} > 6\%$
4	pCO_2 变化	$\Delta pCO_2 \leq 10\%$	$10\% < \Delta pCO_2 \leq 50\%$	$\Delta pCO_2 > 50\%$

6.1.2 营养盐评价

以营养盐浓度作为评价方法，根据碳酸盐、磷酸盐和硅酸盐测定的浓度值作为评价标准，并判断海水的6种营养状态，见表3。

表3 营养盐评价标准

项目	营养盐的绝对限制			营养盐的潜在限制		
评价指标	$N < 1 \mu\text{mol/L}$	$\text{SiO}_3\text{-Si} < 2 \mu\text{mol/L}$	$\text{PO}_4\text{-P} < 0.1 \mu\text{mol/L}$	$N/P < 10$ $N/Si < 1$	$N/Si > 1$	$N/P > 30$
营养状态	氮限制	硅限制	磷限制	潜在氮限制	潜在硅限制	潜在磷限制

6.1.3 海水低氧评价

以每次调查的溶解氧含量作为海水是否低氧的评价方法。

当 DO 的标准指数 $S_{DOi, j}$ 小于 1，表明该评价区为低氧区域；当 DO 的标准指数 $S_{DOi, j}$ 大于等于 1，则表明该评价区为非低氧区域，评价标准见表 4。

表4 海水低氧评价标准

评价指标	$S_{DOi, j} < 1$	$S_{DOi, j} \geq 1$
评价结果	低氧区域	非低氧区域

6.1.4 海水酸化评价

以每次调查 $\Omega_{\text{文石}}$ 作为评价方法，评价标准见表 5。

表5 海水酸化评价标准

评价指标	$\Omega_{\text{文石}} > 2$	$1.5 < \Omega_{\text{文石}} \leq 2$	$1 < \Omega_{\text{文石}} \leq 1.5$	$\Omega_{\text{文石}} \leq 1$
酸化程度	正常	轻度	中度	重度

6.1.5 海洋碳汇评价

以海-气 CO_2 通量作为指标，负值代表碳汇，正值代表碳源，评价标准见表 6。

表6 海洋碳汇评价标准

碳汇评价	碳汇			源汇平衡	碳源		
衡量指标	$F < 0$			$F = 0$	$F > 0$		
碳汇强度评价	强汇	中等汇	弱汇	源汇平衡	强源	中等源	弱源
衡量指标	$F \leq -10$	$-10 < F \leq -5$	$-5 < F < 0$	$F = 0$	$F \geq 10$	$5 \leq F < 10$	$0 < F < 5$

6.1.6 有机污染物评价

以有机污染物污染指数作为评价方法。

根据单因子评价结果，污染等级划分见表 7。

表7 海水有机污染物生态危害性等级划分

污染等级	安全	警戒级	轻污染	中污染	重污染
污染水平	清洁	尚清洁	已受污染	已受中度污染	已受重度污染
P_i	$P_i \leq 0.7$	$0.7 < P_i \leq 1$	$1 < P_i \leq 2$	$2 < P_i \leq 3$	$P_i > 3$

6.2 沉积物环境评价

6.2.1 哈坎森生态危害指数法评价

利用哈坎森生态危害指数对表层沉积物重金属生态危害程度进行评价,其生态危害等级和衡量指标划分见表8。

表8 沉积物重金属生态危害性等级划分

生态危害等级	轻微危害	中等危害	强危害	极强危害
衡量指标	$RI < 150$	$150 \leq RI < 300$	$300 \leq RI < 600$	$RI \geq 600$

6.2.2 内梅罗综合污染指数法评价

利用内梅罗综合污染指数和单项污染指数对有机质、重金属和有机污染物的生态污染水平进行评价,等级划分需同时满足对应的综合污染指数和单向污染指数的阈值。具体生态污染等级、污染水平和衡量污染指数划分见表9。

表9 内梅罗综合污染指数法等级划分

污染等级	安全	警戒级	轻污染	中污染	重污染
污染水平	清洁	尚清洁	已受污染	已受中度污染	已受重度污染
综合污染指数	$NI \leq 0.7$	$0.7 < NI \leq 1$	$1 < NI \leq 2$	$2 < NI \leq 3$	$NI > 3$
单项污染指数	$P_i \leq 0.7$	$0.7 < P_i \leq 1$	$1 < P_i \leq 2$	$2 < P_i \leq 3$	$P_i > 3$

6.3 海洋生物评价

6.3.1 叶绿素 a 浓度、初级生产力及生物量或密度评价

评价对象包括叶绿素 a 浓度、初级生产力、浮游植物群落、浮游动物群落、底栖生物群落和鱼类。主要评价内容为叶绿素 a 浓度、初级生产力以及各类群生物的生物量和密度大小及其变化,以最原始本底资料调查结果作为参考值(若无法查到最原始资料,可以中国第四次北极科学考察数据为参考),计算其变化幅度作为评价结果。

变化幅度按照公式(17)计算:

$$BR = ((BD_i - BD_0) / BD_0) \times 100\% \dots\dots\dots (17)$$

式中:

BR ——叶绿素 a 浓度、初级生产力及生物量或密度变化幅度;

BD_i ——叶绿素 a 浓度、初级生产力及生物量或密度现状值;

BD_0 ——叶绿素 a 浓度、初级生产力及生物量或密度参考值。

评价标准可分为较小变化（I）、中等变化（II）和较大变化（III）3个等级，见表10。

表10 海洋生物指标评价标准

序号	指标	I	II	III
1	叶绿素 <i>a</i> 浓度变化幅度	$BR \leq 20\%$	$20\% < BR \leq 50\%$	$BR > 50\%$
2	初级生产力变化幅度	$BR \leq 20\%$	$20\% < BR \leq 50\%$	$BR > 50\%$
3	丰度或个体密度变化幅度	$BR \leq 20\%$	$20\% < BR \leq 50\%$	$BR > 50\%$
4	生物量变化幅度	$BR \leq 30\%$	$30\% < BR \leq 50\%$	$BR > 50\%$
5	优势种优势度变化幅度	$DR \leq 5\%$	$5\% < DR \leq 20\%$	$DR > 20\%$
6	丰富度指数变化幅度	$DIR \leq 5\%$	$5\% < DIR \leq 20\%$	$DIR > 20\%$
7	多样性指数变化幅度	$DIR \leq 20\%$	$20\% < DIR \leq 50\%$	$DIR > 50\%$
8	均匀度指数变化幅度	$DIR \leq 10\%$	$10\% < DIR \leq 30\%$	$DIR > 30\%$
9	群落演变速率	$0 < E \leq 0.2$	$0.2 < E \leq 0.5$	$E > 0.5$

白令海、楚科奇海、波弗特海、北冰洋中心海域叶绿素 *a* 平均浓度、初级生产力、浮游植物丰度、浮游动物个体密度、底栖生物总生物量和总密度及鱼类密度参考值参见表A.1，亦可参见更早或其他航次科学考察数据。

6.3.2 优势种优势度评价

评价对象包括浮游植物群落、浮游动物群落、底栖生物群落和鱼类。主要评价内容为各类群生物的优势种优势度大小及其变化，以最原始本底资料调查结果作为参考值（若无法查到最原始资料，可以中国第四次北极科学考察数据为参考）计算其变化幅度作为评价结果。评价结果可分为较小变化（I）、中等变化（II）和较大变化（III）3个等级，见表10。

变化幅度按照公式（18）计算：

$$DR = ((DD_i - DD_0) / DD_0) \times 100\% \dots\dots\dots (18)$$

式中：

DR ——优势种优势度变化幅度；

DD_i ——优势种优势度现状值；

DD_0 ——优势种优势度参考值。

6.3.3 生物多样性评价

评价对象包括浮游植物群落、浮游动物群落、底栖生物群落和鱼类。主要评价内容为各类群生物的种类丰富度指数、物种多样性指数、均匀度指数及其变化，以最原始本底资料调查结果作为参考（若无法查到最原始资料，可以中国第四次北极科学考察数据为参考）计算其变化幅度作为评价结果。评价结果可分为较小变化（I）、中等变化（II）和较大变化（III）3个等级，见表10。

变化幅度按照公式（19）计算：

$$DIR = ((DID_i - DID_0) / DID_0) \times 100\% \dots\dots\dots (19)$$

式中：

DIR ——多样性指数变化幅度；

DID_i ——多样性指数现状值；

DID_0 ——多样性指数参考值。

白令海、楚科奇海、波弗特海、北冰洋中心海域浮游植物、浮游动物和底栖生物群落及鱼类生物多样性指数参考值可参见中国第四次北极科学考察数据（可参见表A.2），亦可参见更早或其他航次科学考察数据。

6.3.4 群落演变评价

评价对象包括浮游植物群落、浮游动物群落、底栖生物群落和鱼类。主要评价内容为不同生物类群沿时间序列的演变速率，并评价其演变程度，评价结果可分为较小变化（I）、中等变化（II）和较大变化（III）3个等级，见表10。

附 录 A
(资料性附录)
中国第四次北极科学考察数据

中国第四次北极科学考察给出的不同海域叶绿素 *a* 浓度、初级生产力以及各类群生物密度或生物量参考值和多样性指数参考值分别参见表 A.1 和 A.2。

表A.1 不同海域叶绿素 *a* 浓度、初级生产力以及各类群生物密度或生物量参考值

指标	白令海	楚科奇海	波弗特海	北冰洋中心区
叶绿素 <i>a</i> 浓度 mg/m ³	2.39	1.83	0.18	0.17
初级生产力 mg/ (m ³ ·h)	0.51	1.18	0.20	0.07
浮游植物丰度 cells/m ³	58.00×10 ³	78.05×10 ³	3.10×10 ³	3.60×10 ³
浮游动物个体密度 ind./m ³	0.06×10 ³	0.06×10 ³	0.02×10 ³	0.02×10 ³
底栖生物总密度 ind./m ²	897.27	843.68	588.44	20.36
底栖生物总生物量 g/m ²	1097.67	830.74	76.69	4.36
鱼类密度 ind./km ²	2.14×10 ³	3.20×10 ³	—	—

注：表中数据为中国第四次北极科学考察在各海域所有调查站位的平均值

表A.2 不同海域各类群生物多样性指数参考值

生物类群	指数	白令海	楚科奇海	波弗特海	北冰洋中心区
浮游植物	丰富度指数 (<i>d</i>)	2.30	1.63	1.28	1.52
	多样性指数 (<i>H'</i>)	2.45	2.43	2.55	2.69
	均匀度指数 (<i>J'</i>)	0.55	0.69	0.76	0.76
浮游动物	丰富度指数 (<i>d</i>)	5.20	4.74	6.58	8.76
	多样性指数 (<i>H'</i>)	1.92	2.40	3.05	3.02
	均匀度指数 (<i>J'</i>)	0.60	0.64	0.68	0.68
底栖生物	丰富度指数 (<i>d</i>)	2.04	1.80	0.67	0.20
	多样性指数 (<i>H'</i>)	2.15	2.61	1.25	0.17
	均匀度指数 (<i>J'</i>)	0.79	0.78	0.74	0.92
鱼类	丰富度指数 (<i>d</i>)	1.73	1.25	—	—
	多样性指数 (<i>H'</i>)	1.38	1.07	—	—
	均匀度指数 (<i>J'</i>)	0.78	0.78	—	—

注：表中数据为中国第四次北极科学考察在各海域所有调查站位的平均值

参 考 文 献

- [1] GB/T 12763.9—2007 海洋调查规范 第9部分：海洋生态调查指南
- [2] 国家海洋局极地专项办公室. 极地海洋水文气象、化学和生物调查技术规程, 2012.
- [3] 国家海洋局生态环境保护司. 基于走航监测的海-气二氧化碳交换通量评估技术规程（试行）, 2015.
- [4] A. G. Dickson等. Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurement, 加拿大：北太平洋海洋科学组织, 2007. (https://www.nodc.noaa.gov/ocads/oceans/Handbook_2007.html)
-