

基于模糊综合评价的桑沟湾增养殖区富营养化水平分析

刘缵延

(威海市海洋与渔业局 威海 264200)

摘要: 文章简要回顾海洋水体富营养化评价方法,探索建立海水养殖区富营养化水平模糊综合评价模型,并就桑沟湾海水养殖区的化学需氧量、无机氮(硝酸盐、亚硝酸盐和氨氮之和)、活性磷酸盐、溶解氧、pH 值、叶绿素 a 等指标进行了不同时段、不同时空的综合评价,系统分析综合评价结果的合理性,与其他富营养化评价方法进行了比较,得出用模糊综合评价方法取得的结果更有利于指导海水养殖生产的结论。

关键词: 模糊综合评价;桑沟湾;富营养化

中图分类号:P7

文献标志码:A

文章编号:1005—9857(2016)03—0043—05

On the Eutrophication Level of Mariculture Zone in Sanggou Bay Based on Fuzzy Synthesis Evaluation

LIU Zanyan

(Marine and Fishery Bureau of Weihai, weihai 264200, China)

Abstract: Fuzzy synthesis was used for the evaluation of eutrophication in mariculture zone of Sanggou Bay. The COD, DIN, DIP, dissolved oxygen, pH and chlorophyll- a were assessed by different periods and spaces in Sanggou Bay. The rationality of evaluation results was analyzed. Compared with other evaluation methods, fuzzy synthesis was considered to be the best method to assess the eutrophication level of mariculture zone.

Key words: Fuzzy synthesis, Sanggou Bay, Eutrophication

富营养化是指水体中限制性营养盐的增加及其引起生态系统的相应变化^[1],水体富营养化是国际社会关注的焦点之一,目前国内外关于水体富营养化的评价尚无统一的标准,而单一的因子分析已不能满足海水富营养化评价的需要。一些学者利用营养盐、有机污染物等参数作为评价海域营养指标,提出了营养状态指数法^[1-2],也有学者提出了富

营养化指数法^[3],但这些评价方法依然有一定的缺陷。

模糊综合评价是目前较为客观的富营养化评价方法,已有学者对珠江口、厦门湾、胶州湾、长江口等水域进行了富营养化水平的评价^[4-7]。也有学者对淡水渔业水域的水质做了模糊综合评价^[8],同时还对淡水养殖池塘进行了模糊综合评价^[9]。

桑沟湾位于荣成市东部,面积约 152.6 km²,岸线长度约 90.40 km。平均水深 7~8 m,最大水深 18 m。自然环境条件良好,海底平坦,基础生产力较高,水产资源丰富,近年来滩涂养殖和浅海养殖发展迅速,主要养殖品种是扇贝、牡蛎和海带,现已成为世界上规模最大的贝、藻综合养殖海湾。随着产业的快速发展,海水富营养化的问题也日渐突出,因此迫切需要对其富营养化水平进行定性评价,以了解其变化趋势和存在的风险,而目前专门针对于海水增养殖区的综合评价研究较少。本研究使用模糊综合评价法,对桑沟湾海域进行富营养化评价,这对掌握桑沟湾海水富营养化水平及发展趋势、防治赤潮、绿潮等具有重要意义。

1 研究方法

2014 年春季(5 月)、夏季(8 月)和秋季(10 月)对桑沟湾增养殖区进行了 3 次调查,共布设站位 7 个(图 1)。调查的指标包括化学需氧量、无机氮(硝酸盐、亚硝酸盐和氨氮之和)、活性磷酸盐、溶解氧、pH 值、叶绿素 *a*。样品的采集、运输、保存与分析均按照海洋监测规范(GB17378-2007)执行。本研究所使用的模糊综合评价模型中所依据的评价标准为海水水质标准(GB3097-1997),选取的评价指标为化学需氧量、无机氮(硝酸盐、亚硝酸盐和氨氮之和)、活性磷酸盐、溶解氧和叶绿素 *a*。由于叶绿素 *a* 没有公认的标准,因此根据历年黄海北部海域叶绿素 *a* 调查数据的平均水平设定(表 1)。

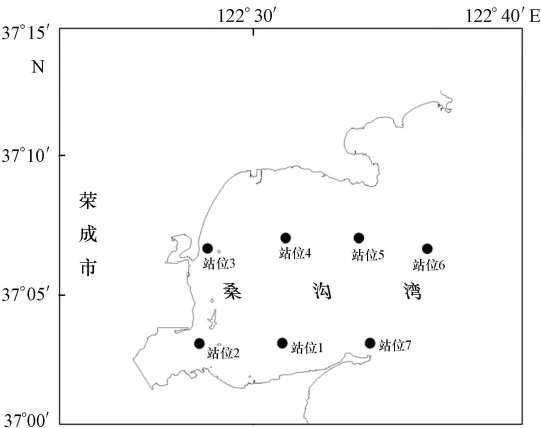


图 1 桑沟湾海域调查站位

表 1 评价标准

指标	I(贫营养)	II(中营养)	III(富营养)
化学需氧量/(mg·L ⁻¹)	2	3	4
无机氮含量/(mg·L ⁻¹)	0.20	0.30	0.40
活性磷酸盐含量/ (mg·L ⁻¹)	0.015	0.030	0.045
溶解氧含量/(mg·L ⁻¹)	6	5	4
叶绿素 <i>a</i> 含量/ (μg·L ⁻¹)	1	3	5

模糊综合评价主要公式如下:

$$f_{i1}(X_i) = \begin{cases} 1, & X_i \leq S_{i1} \\ \frac{S_{i2} - X_i}{S_{i2} - S_{i1}}, & S_{i1} < X_i < S_{i2} \\ 0, & X_i \geq S_{i2} \end{cases}$$

$$f_{i2}(X_i) = \begin{cases} 0, & X_i \leq S_{i1}, X_i \geq S_{i3} \\ \frac{X_i - S_{i1}}{S_{i2} - S_{i1}}, & S_{i1} < X_i < S_{i2} \\ \frac{S_{i3} - X_i}{S_{i3} - S_{i2}}, & S_{i2} < X_i < S_{i3} \\ 1, & X_i = S_{i2} \end{cases}$$

$$f_{i3}(X_i) = \begin{cases} 0, & X_i \leq S_{i2} \\ \frac{X_i - S_{i2}}{S_{i3} - S_{i2}}, & S_{i2} < X_i < S_{i3} \\ 1, & X_i \geq S_{i3} \end{cases}$$

由于溶解氧的标准与其他指标顺序相反,故计算公式改为如下计算:

$$f_{i1}(X_i) = \begin{cases} 1, & X_i \geq S_{i1} \\ \frac{X_i - S_{i2}}{S_{i1} - S_{i2}}, & S_{i2} < X_i < S_{i1} \\ 0, & X_i \leq S_{i2} \end{cases}$$

$$f_{i2}(X_i) = \begin{cases} 0, & X_i \leq S_{i3}, X_i \geq S_{i1} \\ \frac{X_i - S_{i3}}{S_{i2} - S_{i3}}, & S_{i3} < X_i < S_{i2} \\ \frac{S_{i1} - X_i}{S_{i1} - S_{i2}}, & S_{i2} < X_i < S_{i1} \\ 1, & X_i = S_{i2} \end{cases}$$

$$f_{i3}(X_i) = \begin{cases} 1, & X_i \leq S_{i3} \\ \frac{S_{i2} - X_i}{S_{i2} - S_{i3}}, & S_{i3} < X_i < S_{i2} \\ 0, & X_i \geq S_{i2} \end{cases}$$

式中: f 为隶属函数; X 为各因子的实测值; i 为某评价因子; S 为海水标准值;下标 1、2、3 为对应的海水标准级别。根据以上公式确定模糊矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{i1} & f_{i2} & f_{i3} \end{bmatrix}$$

权重主要采用污染因子贡献率权重,公式如下:

$$W_i = \frac{X_i}{\bar{S}_i}$$
$$\bar{S}_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 S_{ij}$$

溶解氧的权重计算如下:

$$W_i = \frac{\bar{S}_i}{X_i}$$

然后对 W_i 进行归一化处理,得

$$\bar{W} = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

根据以上计算结果组成模糊向量,即

$$A = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]$$

式中: i 为各单项因子; X_i 为 i 因子的实测值; S_{ij} 为 i 因子 j 级海水标准值; n 为进行评价的因子的个数。

使用综合评价矩阵 $Y=A \times R$, Y 这里为 1×3 矩阵,分别表示对 I,II,III 级的隶属度,以隶属度最大的等级为该处海水的富营养化等级。

2 结果与讨论

2.1 各单项指标时空分布特征

2.1.1 化学需氧量

桑沟湾海域海水中的化学需氧量时空变化见图 2,不同月份、不同站位的化学需氧量变化很大。时间分布上,化学需氧量的最低值出现在夏季,最高值出现在春季,且各监测站位变化趋势基本一致。从空间分布上看,桑沟湾化学需氧量总体呈现湾底高、湾口低的趋势。

2.1.2 pH 值

桑沟湾增殖区海水 pH 值变化见图 3。空间

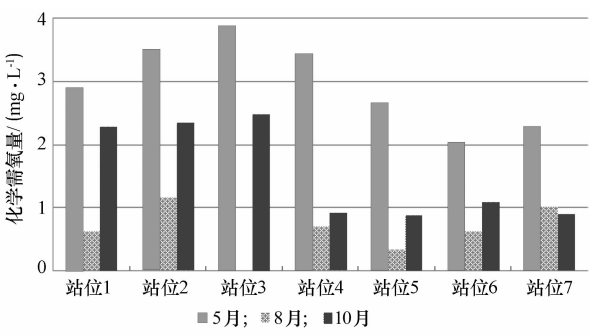


图 2 桑沟湾海水中化学需氧量的时空变化

上,pH 值呈现湾底高、湾口低的分布特点;时间上,大部分监测站位 8 月 pH 值高于 5 月和 10 月。总体来看,桑沟湾增殖区海水 pH 值变化比较稳定,未出现大的波动。

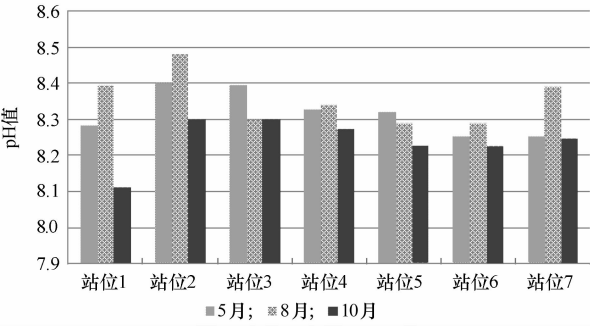


图 3 桑沟湾海水 pH 的时空变化

2.1.3 溶解氧

桑沟湾增殖区海水中的溶解氧平均含量见图 4。其中 5 月海水中的溶解氧含量均高于 8 月和 10 月,不同站位间的溶解氧含量差别不大。

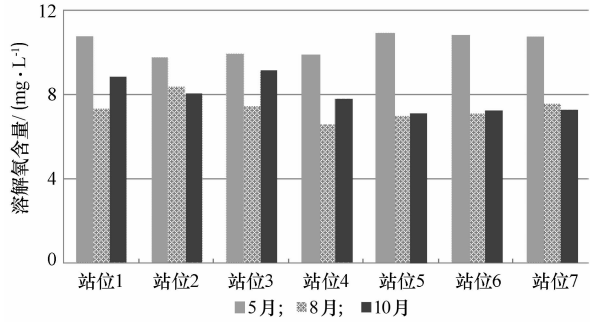


图 4 桑沟湾海水中溶解氧含量的时空变化

2.1.4 无机氮

桑沟湾增殖区海水的无机氮含量呈现明显

的时空分布特征,5 月和 10 月桑沟湾无机氮含量未出现大的浮动,而 8 月无机氮含量显著升高,并在站位 1 和站位 7 形成高值(图 5)。

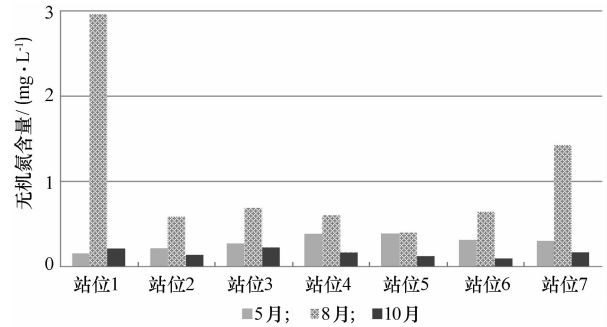


图 5 桑沟湾海水中无机氮含量的时空变化

2.1.5 活性磷酸盐

桑沟湾增养殖区海水中的活性磷酸盐含量在时间上呈现从春季到秋季逐渐降低的过程。海水中活性磷酸盐含量空间变化不十分明显,但夏季空间变化幅度高于春季和秋季(图 6)。

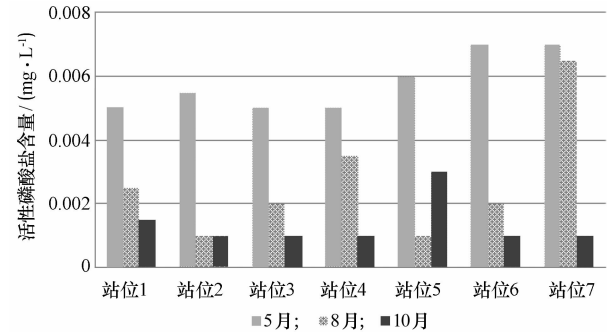


图 6 桑沟湾海水中活性磷酸盐含量的时空变化

2.1.6 叶绿素 a

桑沟湾增养殖区叶绿素 a 显示出显著的季节性变化(图 7)。其中,夏季桑沟湾增养殖区叶绿素 a 含量显著高于春季和秋季,春季桑沟湾中部海水叶绿素 a 低于湾底和湾口,但夏季和秋季,湾北部海域叶绿素 a 显著高于湾南部海域。

2.2 海水富营养化评价

模糊综合评价处理结果见表 2。根据处理结果,桑沟湾增养殖区在春季和秋季的部分站位为Ⅲ级,而在夏季全部监测站位均为Ⅲ级,富营养化趋势较为严重,富营养化风险高。

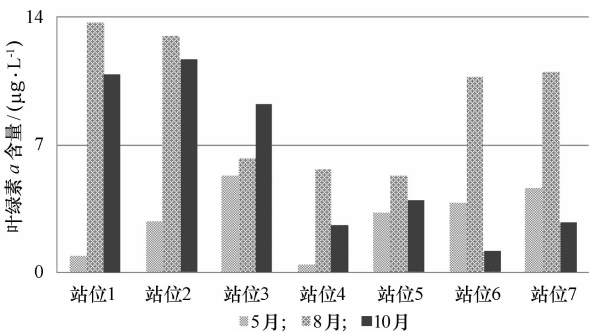


图 7 桑沟湾海水中叶绿素 a 的时空变化

表 2 模糊综合评价结果

季节	站位	I	II	III	级别
春季	1	0.64	0.36	0.00	I
	2	0.39	0.43	0.17	I
	3	0.21	0.15	0.63	III
	4	0.25	0.28	0.47	III
	5	0.25	0.41	0.34	II
	6	0.36	0.44	0.20	II
	7	0.31	0.37	0.32	II
夏季	1	0.06	0.00	0.94	III
	2	0.14	0.00	0.86	III
	3	0.14	0.00	0.86	III
	4	0.22	0.00	0.78	III
	5	0.21	0.00	0.79	III
	6	0.14	0.00	0.86	III
	7	0.13	0.00	0.87	III
秋季	1	0.31	0.05	0.64	III
	2	0.28	0.05	0.67	III
	3	0.29	0.12	0.59	III
	4	0.71	0.29	0.00	I
	5	0.53	0.25	0.22	I
	6	0.98	0.02	0.00	I
	7	0.67	0.33	0.00	I

桑沟湾增养殖区在夏季全部为Ⅲ级,这主要是由于夏季较高的营养盐和叶绿素 a 导致的。由于夏季桑沟湾浮游植物数量丰富,从而导致海水中叶绿素 a 含量升高,并远远超过其他海湾。究其原因,主要是由于桑沟湾增养殖区的养殖特点决定的,桑沟湾内主要养殖海带、牡蛎和扇贝等生物,春季是海带快速生长期,海带的营养竞争和贝类的滤食可能

是造成春季浮游植物数量较低的主要原因,叶绿素 a 含量也处于低位水平,桑沟湾的海带收获一般从 6 月开始,8 月海带已经收获完毕,海带的收获导致浮游植物的竞争者大量消失,大大降低了桑沟湾海域的营养消耗,从而导致营养盐含量处于高位水平,促进浮游植物的生长繁殖,导致叶绿素 a 含量急剧上升。这与刘慧等^[10]对桑沟湾增养殖区浮游植物的研究结果相似。

2.3 与其他富营养化评价方法的比较

本研究另外选取了富营养化指数法进行海水富营养化水平的评价^[3],水质富营养等级划分标准见表 3。

计算公式为:

$$E = (C_{\text{COD}} \times C_{\text{TN}} \times C_{\text{PO}_4} / 4\ 500) \times 10^6$$

式中: C_{COD} 为化学需氧量含量; C_{TN} 为无机氮含量; C_{PO_4} 为活性磷酸盐含量。

表 3 水体富营养化评价等级划分标准	
水质等级	指数 E
贫营养	<1
轻度富营养	$1\sim2$
中度富营养	$2\sim5$
重富营养	$5\sim15$
严重富营养	≥15

根据水体富营养化评价公式计算营养指数 E (表 4)。从表 4 中可以看出,桑沟湾海域春季 5 个站位的富营养化指数大于 1,处于轻度富营养状态;而夏季有一个站位为轻度富营养化水质,一个站位为中度富营养化水质。

表 4 重点增养殖区水体富营养等级			
站位	春季	夏季	秋季
1	0.51	1.02	0.16
2	0.93	0.15	0.08
3	1.14	0.01	0.13
4	1.45	0.33	0.03
5	1.38	0.03	0.07
6	1.01	0.18	0.02
7	1.07	2.05	0.03

通过两种方法的比较可以看出,使用模糊综合

评价法评价桑沟湾海域,在春季、夏季和秋季均出现了不同程度的富营养化现象;而用富营养化指数法来进行评价,则桑沟湾仅在春季和夏季的部分站位出现轻度富营养化。根据富营养化的定义,富营养化不仅应该包括营养盐的增加,还应包括生态系统的变化^[11],桑沟湾增养殖区夏季浮游植物生长较快,叶绿素 a 显著高于其他季节,富营养化指数公式中不含有生物相关指标,使用富营养化指数法进行富营养化评价,容易夸大营养盐的作用,而忽视生物要素的作用,因此不适合对增养殖区这样以生物为核心的海域进行评价。通过使用模糊综合评价法,可以发现桑沟湾海域富营养化的变化趋势是夏季富营养化风险高于春秋两季。这对于合理的水产养殖模式的改进、防止出现赤潮等生物灾害具有重要意义。

参考文献

[1] 李锦蓉,吕颂辉,梁松. 大鹏湾、大亚湾营养盐含量与赤潮生物关系的初探[J]. 海洋通报,1993,12(2):18—24.

[2] 彭昆仑,贾后磊. 湛江港外海水富营养化水平与浮游植物多样性[J]. 海洋通报,2007,26(2):113—116.

[3] 邹景忠,董丽萍,秦保平. 渤海湾富营养化和赤初步探讨[J]. 海洋环境科学,1983,12(2):41—55.

[4] 姚云,沈志良. 胶州湾海水营养化水平评价[J]. 海洋科学,2004,28(6):14—17.

[5] 林辉,张元标,陈金民. 厦门海域水体富营养程度评价[J]. 台湾海峡,2002,21(2):154—161.

[6] 熊德琪,陈守煜. 海水富营养化模糊评价模式[J]. 海洋环境科学,1993,22(3—4):104—110.

[7] 陈鸣渊,俞志明,宋秀贤,等. 利用模糊综合方法评价长江口海水富营养化水平[J]. 海洋科学,2007,31(11):47—54.

[8] 王瑞梅,傅泽田,何有缘,等. 渔业水域水质模糊综合评价模型研究[J]. 中国农业大学学报,2005(6):51—55.

[9] 王瑞梅,傅泽田,何有缘. 池塘淡水养殖水质模糊综合评价系统的设计与实现[J]. 农业科学与技术,2010(7):171—175.

[10] 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 II[J]. 海洋水产研究,2003,24(3):20—28.

[11] SMETACEK V. Coastal eutrophication: causes and consequences. Mantoured M. Ocean Marine Processed in Global Change[M]. New York: John Wiley & Sons, 1999:251—279.