第26卷 第4期 Vol. 26, No. 4
2009年4月 海洋开发与管理 April 2009

海洋环境污染实物量损失的模糊测定*

——以渤海为例

郑 慧 赵 昕

（中国海洋大学 青岛 266071）

摘 要 借鉴模糊数学中的模糊综合评价法，选择有代表性的污染物指标建立模糊综合评价指标体系，评价渤海环境污染的致害等级；根据已有的渤海环境污染程度与海洋物产损失间的对应关系，对每一损失等级赋予一定的实物量损失率，据此得出综合的渤海环境污染的实物型损失模型，为渤海环境污染的治理提供科学依据。

关键词 模糊综合评价法；实物量损失率；实物型损失模型

渤海是我国最大的内海，作为鱼虾类群体的产卵场、索饵场和肥育场，为我们供应了丰富的海洋物产。然而，人类多年来的贪婪索取使得渤海渔业经历了鱼虾满舱到资源衰退、生态破坏的巨大变迁，一幕幕物种绝迹的悲剧拉响了渤海环境治理的警钟。研究渤海环境污染现状，测度污染导致的实物量损失已经刻不容缓，同时这也对拯救渤海摆脱“死海”的命运有着重大意义。

所谓渤海污染的实物量损失，是在国民经济核算的基础上，运用实物单位建立不同地区的环境污染实物量账户和经济—环境污染综合核算表，描述与经济活动对应的各类污染物排放情况，核算地区单位产出的污染排放强度和对环境中实物资源的影响力度。

但是，渤海物产资源的多样化以及海洋污染物种类的分散性使得在它们之间逐一建立污染物—实物量损失对应关系的一般做法难以实现。为解决这一问题，本研究根据模糊数学理论，结合实物量损失核算的要求，科学选取评价指标，对渤海环境污染进行模糊综合评价，根据已有的渤海环境污染程度与海洋物产损失间的对应关系，对每一损失等级赋予一定的实物量损失率，据此得出综合的渤海环境污染的实物型损失模型，为渤海环境的治理奠定基础。

1 模糊评价法简介

模糊综合评价模型的理论基础是模糊数学。模糊数学是一门新兴学科，由美国控制论专家查德于1965年建立[1]。模糊数学（Fuzzy Mathematics）仿效人脑的模糊思维，为解决各种实际问题（尤其是有人干预的复杂系统的处理问题）提供有效的思路

* 本研究为国家海洋发展研究中心重点项目“渤海环境污染损失评价与治理对策研究”（项目编号：AOCZD2008）.

和方法，现已广泛应用于自动控制、预测预报、人工智能、系统分析、信息处理、模式识别、管理决策和仿真技术等学科领域。

模糊综合评价模型（Fuzzy Comprehensive Evaluation）是一种功能强大的分析方法，它在水环境科学中的应用从水质评价开始，已经取得了很好的应用效果[2]。模糊综合评判就是对受到多个因素制约的事物或对象作出一个总体的评价，由于从多方面对事物进行评价难免带有模糊性和主观性，采用模糊数学的方法进行综合评判将会使评价结果具有最大的客观性，从而取得比较理想的评判效果[3]。

2 渤海环境污染实物型损失模糊综合评价模型

2.1 模糊综合评价对象因素集的建立

模糊综合评价对象因素是指参与评价的评价指标。在渤海环境污染实物型损失评价模型中，因素集就是由参与评价的 n 个渤海环境因子的实际测定浓度组成的模糊子集，即 $G=\{g_1, g_2, g_3, \cdots, g_n\}$。

2.2 模糊综合评价集的建立

模糊综合评价集是与因素集中评价因子相应的评价标准集合。在渤海环境污染实物型损失评价中，评价集 A 是各个污染因子相应的环境质量标准等级的集合，一个由 n 个因子、m 个等级构成的环境质量标准评价指标结构见表1。

表1 环境质量标准评价指标

标准等级	指标1	指标2	…	指标 n
1	$a_{11}\sim a_{21}$	$a_{12}\sim a_{22}$	…	$a_{1n}\sim a_{2n}$
2	$a_{21}\sim a_{31}$	$a_{22}\sim a_{32}$	…	$a_{2n}\sim a_{3n}$
⋮	⋮	⋮		⋮
$m-1$	$a_{(m-1)1}\sim a_{m1}$	$a_{(m-1)2}\sim a_{m2}$	…	$a_{(m-1)n}\sim a_{mn}$
m	$\geqslant a_{m1}$	$\geqslant a_{m2}$	…	$\geqslant a_{mn}$

2.3 模糊综合评价隶属度函数的建立

由于评价渤海环境污染的实物型损失模型中使用了多个指标，直接利用各因子的所属等级求得的损失等级易产生不相容性，为此引入模糊隶属度函数以确定污染所致实物型损失的综合等级。

模糊集合是用隶属函数描述的，并依据隶属函数建立了模糊集合论，因此隶属函数的确立是模糊综合评价法的关键所在。对于隶属度函数的确立，学者们认为，应该根据研究对象的差异采取不同的方法[4]。目前广泛被采用的方法主要有：主观评分法、模糊统计法、蕴含解析定义法和可变模型法等[5]。隶属函数大致有降半矩形分布、降半Γ型分布、降半正态分布、降半梯形分布、降半凹（凸）分布和降半哥西分布6种[6]，其中降半梯形分布是最常用的方法，能够较有效地区分评价对象的不同等级。因此，本研究使用降半梯形分布来刻画渤海环境污染实物型损失评价体系中的隶属度函数，具体函数如下：

$$u_{i,1}=\begin{cases}1, & g_i \leqslant a_{i,1}\\ \dfrac{a_{i,2}-g_i}{a_{i,2}-a_{i,1}}, & a_{i,1}<g_i<a_{i,2}\\ 0, & g_i \geqslant a_{i,2}\end{cases} \tag{1}$$

$$u_{i,j}=\begin{cases}0, & g_i \leqslant a_{i,j-1} \text{ or } g_i \geqslant a_{i,j+1}\\ \dfrac{g_i-a_{i,j-1}}{a_{i,j}-a_{i,j-1}}, & a_{i,j-1}<g_i<a_{i,j}\\ \dfrac{a_{i,j+1}-g_i}{a_{i,j+1}-a_{i,j}}, & a_{i,j}<g_i<a_{i,j+1}\end{cases} \quad (1<j<m) \tag{2}$$

$$u_{i,m}=\begin{cases}0, & g_i \leqslant a_{i,m-1}\\ \dfrac{g_i-a_{i,m-1}}{a_{i,m}-a_{i,m-1}}, & a_{i,m-1}<g_i<a_{i,m}\\ 1, & g_i \geqslant a_{i,m}\end{cases} \tag{3}$$

其中：g_i为因子 i 的实测浓度值；u_{ij}为因子 g_i 对 j 级标准的隶属度；a_{ij}为因子 i 的第 j 级等级的标准。那么渤海环境污染程度集合 U 可以表示为：

$$U=\begin{Bmatrix}u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1m}\\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2m}\\ & & \cdots & \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nm}\end{Bmatrix}_{n\times m}$$

2.4 模糊综合评价指标权重的赋值

模糊综合评价指标权重是指：各指标在评价渤海环境污染的实物型损失时所起作用的重要程度。根据污染物超标越严重，对渤海物产的致损度应越大的原则，本研究选择超标比方法来对指标权重赋值[7]。其计算公式如下：

$$w_i = \frac{g_i}{a_i} \tag{4}$$

对 w_i 作归一化处理，得：

$$w_i' = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \tag{5}$$

其中：$\overline{a_i}$、w_i 和 w_i' 分别表示第 i 个指标各标准值的均值、第 i 各指标的权重值和归一化后的权重值。相应的权重矩阵可以表示 W' 为：

$$W' = (w_1', w_2', \cdots, w_n')$$

2.5 模糊综合评价模型的建立

为综合各指标在总体评价中的影响程度，利用权重矩阵处理渤海环境污染程度集合 U，得到各被评价对象的模糊综合评价向量 C，即：

$$C = W' \times U \tag{6}$$

其中 $C = (c_1, c_2, \cdots, c_m)$，$c_j = \sum_{i=1}^{n} (w'_i \times u_{ij})$；$i=1, 2\cdots, n$；$j=1, 2\cdots, m$。

再由最大隶属度原则，令 $c_{j*} = \max(c_1, c_2, \cdots, c_m)$，得到渤海环境污染的模糊损失等级为 j^*。根据现有的渤海环境污染与海洋产出损失之间的对应关系，赋予每一损失等级的实物量损失率为 v_i，那么就可以得到渤海环境污染导致的实物型损失的一般范围，也就是最终的渤海污染实物量损失。

3 渤海环境污染实物型损失的实证分析

根据国家环保总局 UCD551463 GB 3097－1997 号文件中对海水水质标准的规定，结合实物量损失测算的要求稍做修正（表2），建立渤海环境污染的实物量损失的评价指标体系（表3）。

此时，$n=7$，$m=4$。

表2　修正后的海水水质标准

项目	一级	二级	三级	四级
BOD5	1	3	4	5
CODCr	2	3	4	5
磷酸盐	0.015	0.03		0.045
氨氮	0.22	0.32	0.42	0.52
油类	0.05		0.3	0.5
重金属	0.12	0.24	0.48	1.31
氰、苯胺、氯化物和硫化物等	0.03	0.06	0.21	0.5

表3　评价指标体系

标准等级	BOD5	CODCr	磷酸盐	氨氮	油类	重金属	氰化物、硫化物
1	1～3	2～3	0.015～0.03	0.22～0.32	0.05～0.3	0.12～0.24	0.03～0.06
2	3～4	3～4	0.03～0.045	0.32～0.42		0.24～0.48	0.06～0.21
3	4～5	4～5		0.42～0.52	0.3～0.5	0.48～1.31	0.21～0.5
4	≥5	≥5	≥0.045	≥0.52	≥0.5	≥1.31	≥0.5

根据2007年中国海洋环境质量公报的统计数据，2007年渤海各指标的实测值为：

$G = \{g_1, g_2, g_3\cdots g_7\} = (0.168\,2, 10.094\,9, 0.031\,9, 0.301, 0.3, 0.011\,6, 0.011\,6)$。

根据，(5) 式，指标权重矩阵为：

$W' = (w_1', w_2'\cdots w_7') = (0.01, 0.43, 0.21,$

0.12，0.21，0.01，0.01）。

根据式（1）～式（3）计算公式，得到渤海环境污染程度集合 U：

$$U=\begin{Bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\\ 0 & 0.873\,3 & 0 & 0.126\,7\\ 0.19 & 0.81 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\end{Bmatrix}$$

所以，被评价对象的模糊综合评价矩阵 C 为：

$C = W' \times U =$（0.052 8，0.280 6，0.21，0.456 607）

再由最大隶属原则，令 $c_{j*} = \max(c_1, c_2, \cdots, c_m)$，得到渤海环境污染的模糊实物量损失以0.456 607的隶属度归属于第四级，说明2007年渤海水域总体质量较差，与目前渤海的污染现状相符，严重危害着海洋物产的产量和质量。

按照国家环保总局的有关规定，根据海域的不同使用功能和保护目标，海水水质分为四类：第一类适用于海洋渔业水域、海上自然保护区和珍稀濒危海洋生物保护区；第二类适用于水产养殖区、海水浴场、人体直接接触海水的海上运动或娱乐区以及与人类食用直接有关的工业用水区；第三类适用于一般工业用水区和滨海风景旅游区；第四类适用于海洋港口水域和海洋开发作业区。

不同的水质对海产品的致害度不同，等级越高致害度越大，这种危害可能导致海洋生物的死亡，也可能致使海洋生物中毒和增加其体内的有毒物质积累，威胁海洋生物的繁衍生长。根据水质与海洋生物的依存关系，本评价体系中的第一、二级污染程度基本与该规定中的一、二类水体质量相当，由此，本研究定义模糊评价中的第一级和第二级作用下的海洋物产的实物量损失率为0；第三级作用下的实物量损失率为30%；第四级作用下的实物量损失率至少为60%。

显而易见，2007年渤海以第四等级的实物量损失度对海洋生物的致损率在60%以上，长此以往足以对渤海物产造成毁灭性的打击，渤海环境污染的治理迫在眉睫。

4 结论与展望

本研究引入模糊数学理论，对渤海环境污染的实物量损失进行了模糊综合评价，利用给出的实物量损失率界定渤海环境污染对海洋物产的致害范围，得出的结论具有直观性、客观性和可比性。同时，本研究方法也可用于其他海域的污染物实物量损失评价，预期对海洋环境保护相关政策的制定以及合理规划海域使用问题均将起到一定的积极作用。

参考文献：

[1] 杨纶标，高英仪．模糊数学原理及应用［M］3版．广州：华南理工大学出版社，2001：39－146.

[2] 刘新铭．淮河流域水环境模糊评价与容量研究［D］．南京：南京理工大学，2005.

[3] 张中昱．基于BP神经网络和模糊综合评价的环境分析评价系统［D］．天津：天津大学，2006.

[4] 邹志红，孙靖南，任广平．模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用［J］．环境科学学报，2005，25（4）：552－553.

[5] LI Z Y，ZHANG H J，DENG X M. A new assessment method of nutrophication of lake based on AHP－PCA［J］. China Environmental Science，1994，5（1）：37－42.

[6] LEE C S，WEN C G. River assimilative capacity analysis via fuzzy linear programming［J］. Fuzzy Sets And Systems，1996（79）：191－199.

[7] 潘 怡．上海海域水质模糊综合评价及趋势预测研究［D］．上海：上海交通大学，2008.