

王 琦,陈秋颖,王 艳,等. 凌河流域不同时期水环境质量评价[J]. 江苏农业科学,2018,46(5):250-254.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.05.065

# 凌河流域不同时期水环境质量评价

王 琦<sup>1</sup>,陈秋颖<sup>1</sup>,王 艳<sup>1</sup>,杨 明<sup>1</sup>,李 慧<sup>2</sup>,栾天新<sup>2</sup>

(1. 沈阳师范大学生命科学学院,辽宁沈阳 110034; 2. 辽宁省凌河保护区管理局,辽宁朝阳 122099)

**摘要:**随着经济快速发展和人们生活水平不断提高,河流水质污染已成为当前主要的环境问题。以水体质量为研究对象,选取大小凌河流域干支流 12 个典型断面,于汛前(5 月)、汛中(6 月)和汛后(10 月)进行布点采样,监测水体溶解氧(DO)含量、化学需氧量(COD)、总氮(TN)含量、氨态氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )含量、总磷(TP)含量等指标,采用单因子污染指数法和模糊数学方法对流域水质进行评价。结果表明,凌河流域 DO、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 含量属于轻污染水平,COD 部分点位污染较重,部分指标(如 TN、TP 含量)呈现汛前高于汛中和汛后的趋势。模糊综合评价结果显示,凌河流域整体水质符合要求或中污染,且汛中和汛后的水质均优于汛前,主要污染物为 TN,可能是由于农业氮肥的使用和生活污水的排入导致了水体营养元素升高。单一指数法对水质有“过保护”的倾向,结合多种方法综合评价水质,才能更准确地掌握水质状况。

**关键词:**凌河流域;水质;污染;溶解氧;单因子污染指数;模糊数学;农业氮肥;生活污水;水体营养元素;水环境管理中图分类号: X522;X824 文献标志码: A 文章编号:1002-1302(2018)05-0250-05

水环境质量评价是对水环境质量的好坏作出定量或半定量分析、描绘或鉴定<sup>[1]</sup>,结果可揭示特定地区水环境质量的水平和差异,阐明影响水环境质量的原因,从而有针对性地制定治理方案和综合防治计划,为水环境保护工作提供科学依据<sup>[2]</sup>。目前,单指标评价方法因其简单明了且容易使用,成为水质评价最常用的方法,也是其他模式的基础。因此,一些简单的综合指数法如综合污染指数法、布朗水质指数法、内梅罗水污染指数法和罗斯水质指数法等发展起来了。但这些方法多是各项评价因子标准指数加和的算术平均值,无法体现大区域综合污染因子对水质的影响。由于水环境中存在大量不确定性因素,其中水质级别、分类标准都是一些模糊概念,因此基于模糊集合的模糊数学方法在地下水<sup>[3-4]</sup>、流域水环境<sup>[5-6]</sup>、城市空气质量评价以及环境决策<sup>[7-8]</sup>等领域得到广泛发展和应用。模糊数学评价法用隶属函数描述环境质量分级界限,不但考虑各单项参数在总体污染中的作用,给予不同权重,还考虑实际存在的界限模糊性,使评价结果更接近客观,与单因子水质评价法相比具有较强的优势。常用的模糊数学方法主要包括模糊聚类分析和模糊综合评价<sup>[9-10]</sup>,相对于模糊聚类分析,模糊综合评价对水环境质量的评价具有更好的数据相关性,能了解多个水质参数与相应标准之间的综合相对关系<sup>[11-14]</sup>。由于综合评价法的数学模型简单、容易掌握,更适合于对多因素、多层次的复杂问题的评价,将其应用于对水质的评价能更客观、科学地反映水质情况。

收稿日期:2016-08-10

基金项目:国家自然科学基金(编号:41301573);沈阳师范大学生态与环境研究中心主任基金(编号:EERC-T-201501)。

作者简介:王 琦(1993—),男,辽宁庄河人,硕士研究生,主要从事河流水体与沉积物污染监测与评价研究。E-mail: lndlwq8762@163.com。

通信作者:陈秋颖,博士,副教授,主要从事水环境污染监测与风险评估研究。E-mail: chenqy84@126.com。

凌河(大小凌河)流域横跨辽宁省葫芦岛、朝阳和锦州 3 个城市。20 世纪 90 年代沿途许多城市污水和工业废水排入到河流当中,超出河流的自净能力,致使凌河流域水质下降<sup>[9]</sup>。近年来,辽宁省凌河保护区管理局的成立,于凌河流域干流水源地到入海口实施了多处人工湿地建设及生态恢复工程,使流域水生态环境得到明显改善,评估流域干流、支流水质状况是区域经济发展和流域管理部门迫切须要掌握的信息。然而,目前关于凌河水质评价的研究较少,尤其是对不同时期水质变化的研究还须加强。本研究以凌河流域干流、支流水体为研究对象,在源头、城市段前后、入海口等设置采样监测断面,采用单因子污染指数法和模糊数学法评价不同水期水质变化情况,掌握凌河流域干流、支流水环境变化规律,及时了解水环境变化趋势,为水环境管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

凌河(大、小凌河)流域位于辽宁省西部,是辽宁省贫水地区。其中,大凌河北源出凌源市打鹿沟,南源出建昌县黑山,到大城子附近会合,东北流经努鲁儿虎山和松岭间纵谷,接纳老虎山河、牯牛河、西凉河等支流,到义县转向循医巫闾山西侧南流,在锦县东南注入辽东湾,河流全长 397 km,流域面积达 2.35 万  $\text{km}^2$ ,流域内年降水量 450~600 mm,年均径流量 16.67 亿  $\text{m}^3$ ;流域人均水资源占有量为 378  $\text{m}^3$ ,不到全省人均水资源占有量 820  $\text{m}^3$  的 1/2,为全国人均占有量 2 210  $\text{m}^3$  的 1/6。小凌河发源于建昌东北境楼子山,北流转入朝阳市,又东流入锦县境内。河流全长 206 km,流域面积 5 475  $\text{km}^2$ ,年平均径流量为 3.98 亿  $\text{m}^3$ 。凌河流域沿途经过了城市和工业区,大量的生活污水和工业污水排入其中,造成河流水质恶化,水环境承载力变低。

### 1.2 样品的采集

根据凌河流域自然概况,考虑监测结果准确性与监测过

程的可行性,结合监测目的、人力物力等因素以及采样断面的代表性,本研究在河流源头、流经湿地前后、城市段前后以及入海口共选取 12 个监测断面(图 1),于 2013 年 5 月(汛前)、6 月(汛中)和 10 月(汛后)采集河道断面水下 0.5 m 深处水样。根据 GB3838—2002《地表水环境质量标准》中规定的基本项目,本研究监测指标为溶解氧(DO)含量、化学需氧量(COD)、总氮(TN)含量、总磷(TP)含量、氨态氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )含量。其中,DO 含量使用便携式多参数测量仪(奥立龙/ORION-520M-01A)现场测定,COD、TN 含量、TP 含量、 $\text{NH}_3\text{-N}$  含量等指标采用多参数比色计(奥立龙/ORION-AQ3700)实验室测定。

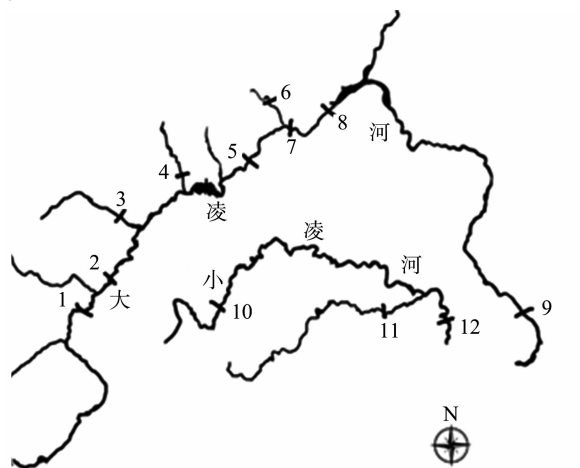


图1 凌河流域采样断面分布

### 1.3 评价方法

运用单因子污染指数法和模糊综合评价法对凌河流域水质状况进行评价,评价标准执行 GB3838—2002《地表水环境质量标准》,步骤如下:(1)隶属度。以往的水质分级中多用一个简单的数学指标为界限,造成界限两边分为截然不同的等级。由于水质的污染程度属于模糊概念,所以这里用隶属概念来描述模糊的水质分级界限。所谓隶属度系指某事物所属某种标准的程度,当 DO 含量为 7.1 mg/L 时,隶属Ⅰ级水的程度为 100%;当 DO 含量为 6.9 mg/L 时,隶属Ⅰ级水的程度达 95%。隶属度可用隶属函数表示,为方便起见,取线性函数

$$y = \begin{cases} \frac{x-x_0}{x_1-x_0} \text{ 或 } \frac{x_1-x}{x_1-x_0} & (x_0 < x < x_1) \\ 1 & (\text{对应于 } x_1 \text{ 所属的那一等级}), (x \geq x_1) \\ 0 & (\text{对应于 } x_0 \text{ 所属的那一等级}), (x \leq x_0) \end{cases}$$

式中: $y$  是对应于  $x_0$  或  $x_1$  所规定的那一级水的隶属度, $x$  是实测值, $x_0$ 、 $x_1$  是某项参数相邻的 2 级水质标准值。

(2)权重及归一化运算。根据各参数超标情况进行加权,超标越多,加权越大。权重值为

$$W_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中: $W_i$  是第  $i$  种污染物以平均标准为基准的超标指数,即为权重; $C_i$  是第  $i$  种污染物实测浓度; $S_i$  是第  $i$  种污染物各级标准值的算术平均值。为进行模糊运算,将各单项权重再进

行归一化运算

$$V_i = \frac{C_i/S_i}{\sum_{i=1}^m C_i/S_i}$$

式中: $V_i$  是第  $i$  种污染物的归一化权重。

(3)模糊矩阵的负荷运算。在进行综合评价时,会用到 2 个模糊矩阵的复合运算。这种运算同一般矩阵乘法相似,不同的是两数相乘“ $\cdot$ ”改为“ $\wedge$ ”,并取其中小者为“积”;两数相加的“ $+$ ”改为“ $\vee$ ”,并取其中大者为“和”<sup>[15]</sup>。“ $\vee$ ”表示取加数中最大者,而“ $\wedge$ ”表示取相乘两数较小者为“积”。因此得出

$$y = (y_1 \text{ 类水}, y_2 \text{ 类水}, \dots, y_n \text{ 类水})$$

该结果对应于集合  $V$  上的各项隶属度,取其中最大者所对应的水质级数,作为该水体的水质级数<sup>[13]</sup>。

(4)评价算法描述。设用污水等级标准对  $T$  ( $T$  表示被评价水质的某个参数)项目进行评价,标准中等级数为  $G_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, s$ ),即有  $s$  个等级。假设某水质有  $m$  个评价因素(参数)  $u_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ )。每个评价参数有  $n$  个定性的评价等级  $V_i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。这些等级按评价要求具体划分,可以定为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、…等级别。对照标准可以确定某水质的每个评价参数  $u_j$  所在的评价等级标准,记为  $R_{mj}$ ,得到的评价表(表 1)。

表 1 污水等级评价结果

参数	不同评价等级标准的概率					
	$V_1$	$V_2$	...	$V_i$	...	$V_n$
$u_1$	$r_{11}$	$r_{12}$	...	$r_{1i}$	...	$r_{1n}$
$u_2$	$r_{21}$	$r_{22}$	...	$r_{2i}$	...	$r_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$u_j$	$r_{j1}$	$r_{j2}$	...	$r_{ji}$	...	$r_{jn}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$u_m$	$r_{m1}$	$r_{m2}$	...	$r_{mi}$	...	$r_{mn}$

表 1 反映了各单项参数与等级之间的关系,这种关系用隶属度表示称作模糊关系, $R_{ij}$  表示被评价水质的第  $j$  个因素(参数)  $u$  可能为等级  $V_i$  的概率,即隶属度,用模糊矩阵  $R$  表示

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

由于评价参数中各个等级标准在某水质评价中的地位不同,因此要求对评价参数赋予权值,其和为 1。矩阵  $A$  表示为  $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ ,其中,设被评价水质的参数评价矩阵为  $B$ ,则  $B = A \cdot R$ ,即

$$B = (a_1, a_2, \dots, a_m) \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

$A$  与  $B$  是 2 个模糊矩阵,所以以上矩阵的运算遵循模糊矩阵的复合运算法,得  $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ <sup>[9]</sup>。 $B$  矩阵表示水质中的某评价中属于  $V_1$  等级的程度(比例)是  $b_1$ ,属于  $V_2$  等级的程度是  $b_2, \dots$ ,依此类推。

其中, $b_1 = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij}$ ,  $\sum_{i=1}^n b_i = 1$ ,以各级别环境质量的模糊向

量  $b_i$  为权,分别乘以赋予的分值  $d_j$  (1~5 级分别赋予 100、80、55、35、15),求和  $d = \sum_{i=1}^n b_i d_j$ ,并依据  $d$  值确定环境质量级别<sup>[16]</sup>。

2 结果与分析

2.1 单一污染指标变化特征

从表 2、图 2 可知,除断面 6(顾洞河上)外,汛后 DO 含量高于汛前和汛中,这主要是由于季节变化水温的影响,总体上水体的 DO 含量均为 I 类或 II 类水质。汛前 COD 变化波动较大,尤其是在小凌河断面 10(羊山)、11(女儿河入河口)、12(西树林)处,分别为 96、90、76 mg/L,属于劣 V 类水,这可能是由于小凌河穿过锦州工业区到达入海口受到了一定程度的工业污染。总体上,汛前 COD 较高,汛中和汛后较低且波动较小,大多数断面能达国家 II 类水质标准,水质较好。凌河

流域的 TP 含量总体较低,其中除了汛前断面 1(喀左上为 0.63 mg/L)和汛中断面 8(章吉营为 0.48 mg/L)属劣 V 类水质,其他时段各断面均为 IV 类或更优,且与汛前和汛中比较,汛后 TP 含量有降低的趋势。除了 5 个断面(汛前 4、汛中 4、6、7、12)外,其余监测时段所有断面的 TN 含量均高于 V 类水标准值(2.00 mg/L),86.1% 的断面属于劣 V 类水,且汛前高于汛中和汛后。所有监测时段断面的  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量均低于 V 类水标准值(2.00 mg/L),其中汛前含量明显高于汛中和汛后。因此,从单一指标上看,凌河流域的 DO、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 含量都属于轻污染水平,且部分指标(如 TN、TP 含量)呈现汛前高于汛中和汛后的趋势,这可能是由于汛期水量增大、污染物被稀释的结果。COD 部分点位污染较重,主要可能是因为流域周边工厂的工业废水和周边市区、乡镇的生活污水排入河流水系,污染物超过水体的自净能力,造成水体污染。

表 2 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》

等级	DO 含量 (mg/L)	COD (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ 含量 (mg/L)	TP 含量 (mg/L)	TN 含量 (mg/L)	分值 (d)	评价
I 类	$\geq 7.5$	$\leq 15$	$\leq 0.15$	$\leq 0.02$	$\leq 0.2$	$d \geq 100$	清洁
II 类	$\geq 6.0$	$\leq 15$	$\leq 0.50$	$\leq 0.10$	$\leq 0.5$	$80 \leq d \leq 100$	较清洁
III 类	$\geq 5.0$	$\leq 20$	$\leq 1.00$	$\leq 0.20$	$\leq 1.0$	$55 \leq d \leq 80$	有污染,符合要求
IV 类	$\geq 3.0$	$\leq 30$	$\leq 1.50$	$\leq 0.30$	$\leq 1.5$	$35 \leq d \leq 55$	中度污染
V 类	$\geq 2.0$	$\leq 40$	$\leq 2.00$	$\leq 0.40$	$\leq 2.0$	$15 \leq d \leq 35$	重污染

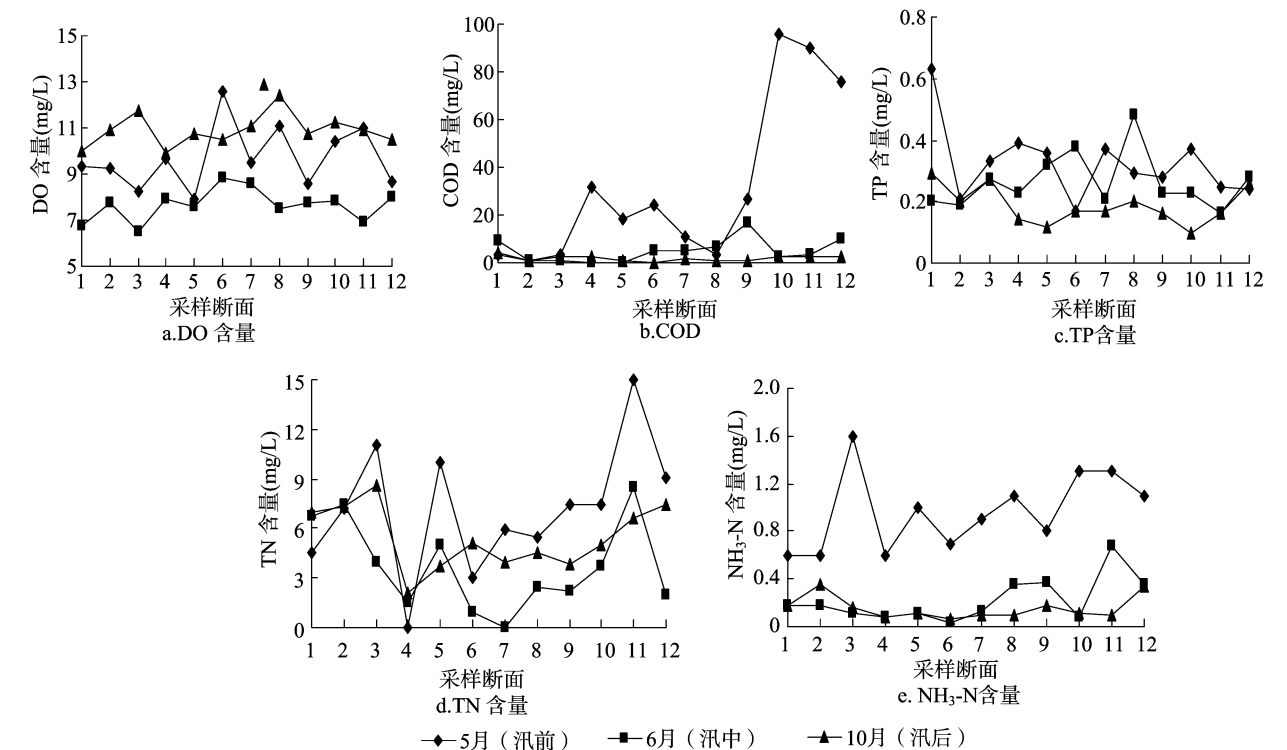


图2 各采样断面的 DO 含量、COD、TN 含量、TP 含量和  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量变化情况

2.2 模糊综合评价

以采样点 1(喀左上)为例,利用模糊数学综合评价法对其水质进行评价,分别对 DO 含量、COD、TN 含量、TP 含量、 $\text{NH}_3\text{-N}$  含量 5 项指标对应 I 类~V 类的隶属度求解,然后计算权重并进行归一化计算,结果见表 3。

以喀左上断面为例作如下说明,其余断面计算方法与此相同。根据表 4 计算结果可得喀左上断面污染项目隶属度及归一化权重,根据评价参数中各等级标准在水质评价中的地位对评价参数赋予权值,其和为 1。可得矩阵  $A$ ,即  $A = (0.245, 0.015, 0.388, 0.286, 0.064)$ ,此矩阵表示喀左上断面

表 3 喀左上断面 5 月(汛前)各类指标隶属度  
及归一化权重计算结果

指标	$C_i$ (mg/L)	$S_i$ (mg/L)	$W_i$ (mg/L)	$V_i$ (mg/L)
DO 含量	9.35	4.70	1.99	0.245
COD	3.00	24.00	0.13	0.015
TP 含量	0.63	0.20	3.15	0.388
TN 含量	4.50	1.94	2.32	0.286
NH <sub>3</sub> -N 含量	0.60	1.15	0.52	0.064

水质各指标权重,将各指标隶属度和归一化权重进行矩阵符合运算,得到矩阵  $R$

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

被评价的参数矩阵  $B=A \cdot R=(0.245,0.030,0.051,0.000,0.674)$ ,则  $d$  值为 39.8 分,因为  $35 \leq d \leq 55$  分,所以喀左上断面为Ⅳ类水体。利用同样方法对其余采样断面进行计算,可得表 4、表 5 和表 6。

由表 4 可知,凌河流域汛前时期  $d$  值为 31.6~66.3 分,

属于“有污染组符合要求”或中污染水平,其中,4 号李家湾大桥下、6 号顾洞河上和 8 号章吉营 3 个采样点水质为Ⅲ类水质,3 号东至卜漫水桥下,10 号羊山、11 号女儿河入河口和 12 号西树林 3 个采样点水质为Ⅴ类水质,其余采样点均为Ⅳ类水质。由归一化权重计算结果可明显看出,水中 TN 含量较高,导致水质下降。由表 5 可知,凌河流域汛中  $d$  值为 38.7~84.9 分,其中 5 个点位(41.67%)处于“有污染但符合要求”水平,7 号采样端面为Ⅱ类水质,4、6、9、12 号点位为Ⅲ类水质,其他均为Ⅳ类水质。由归一化权重计算结果可明显看出,水中 TN 含量较高,导致河水水质下降。由表 6 可以看出,凌河流域汛后  $d$  值为 46.2~71.9 分,其中 7 个点位(58.33%)处于“有污染但符合要求”水平,其中 3~10 号采样端面均为Ⅲ类水质,其他为Ⅳ类水质,水中 TN 含量较高,导致河水水质下降。部分流经人工湿地前后  $d$  值有明显上升,特别是汛中顾洞河断面上游  $d$  值为 56.2 分,下游为 84.9 分,净化效果明显。总体上,汛中水质优于汛后,汛后水质优于汛前。凌河流域水质污染主要由于生活污水排放与农业肥料的施用,导致氮、磷等营养元素升高,水体环境质量下降。

表 4、表 5、表 6 显示,汛前 5 月在 2、3、9、10、11、12 号点位水质评价结果相同,而 1、4、5、6、7、8 号点位用单因子指数法评价的水质均较模糊评价法更差。6 月汛中时期,单因子

表 4 凌河流域 5 月(汛前)水质模糊综合评价

断面序号	采样断面	$B$	$d$ (分)	水质等级	
				模糊法	指数法
1	喀左上	(0.245,0.030,0.051,0.000,0.674)	39.8	Ⅳ	Ⅴ
2	喀左下	(0.276,0.057,0.144,0.014,0.509)	48.2	Ⅳ	Ⅳ
3	东至卜漫水桥下	(0.178,0.000,0.000,0.214,0.608)	34.4	Ⅴ	Ⅴ
4	李家湾大桥下	(0.363,0.069,0.217,0.212,0.339)	66.3	Ⅲ	Ⅴ
5	朝阳水文站	(0.163,0.029,0.129,0.070,0.606)	38.7	Ⅳ	Ⅴ
6	顾洞河上	(0.401,0.074,0.234,0.060,0.231)	64.5	Ⅲ	Ⅳ
7	顾洞河下	(0.248,0.064,0.088,0.068,0.532)	45.1	Ⅳ	Ⅴ
8	章吉营	(0.322,0.000,0.118,0.194,0.366)	60.0	Ⅲ	Ⅳ
9	西八千	(0.206,0.031,0.117,0.215,0.431)	43.5	Ⅳ	Ⅳ
10	羊山	(0.171,0.000,0.035,0.095,0.699)	32.8	Ⅴ	Ⅴ
11	女儿河入河口	(0.145,0.000,0.067,0.080,0.708)	31.6	Ⅴ	Ⅴ
12	西树林	(0.156,0.000,0.125,0.056,0.663)	34.4	Ⅴ	Ⅴ

表 5 凌河流域 6 月(汛中)水质模糊综合评价

断面序号	采样断面	$B$	$d$ (分)	水质等级	
				模糊法	指数法
1	喀左上	(0.078,0.227,0.156,0.000,0.539)	42.6	Ⅳ	Ⅴ
2	喀左下	(0.276,0.014,0.129,0.000,0.581)	44.5	Ⅳ	Ⅴ
3	东至卜漫水桥下	(0.025,0.141,0.223,0.183,0.419)	38.7	Ⅳ	Ⅴ
4	李家湾大桥下	(0.477,0.000,0.219,0.304,0.000)	70.4	Ⅲ	Ⅳ
5	朝阳水文站	(0.291,0.000,0.000,0.218,0.491)	45.2	Ⅳ	Ⅴ
6	顾洞河上	(0.417,0.023,0.083,0.085,0.338)	56.2	Ⅲ	Ⅴ
7	顾洞河下	(0.677,0.003,0.288,0.032,0.000)	84.9	Ⅱ	Ⅳ
8	章吉营	(0.246,0.050,0.000,0.000,0.704)	39.2	Ⅳ	Ⅴ
9	西八千	(0.358,0.136,0.205,0.071,0.230)	63.9	Ⅲ	Ⅴ
10	羊山	(0.375,0.000,0.164,0.071,0.390)	54.7	Ⅳ	Ⅴ
11	女儿河入河口	(0.158,0.156,0.092,0.000,0.594)	42.3	Ⅳ	Ⅴ
12	西树林	(0.416,0.082,0.058,0.231,0.213)	62.6	Ⅲ	Ⅴ

表 6 凌河流域 10 月(汛后)水质模糊综合评价

断面序号	采样断面	<i>B</i>	<i>d</i> (分)	水质等级	
				模糊法	指数法
1	喀左上	(0.325,0.002,0.019,0.174,0.480)	47.0	Ⅳ	V
2	喀左下	(0.354,0.004,0.135,0.000,0.507)	50.8	Ⅳ	V
3	东至卜漫水桥下	(0.317,0.002,0.048,0.112,0.521)	46.2	Ⅳ	V
4	李家湾大桥下	(0.557,0.104,0.069,0.000,0.270)	71.9	Ⅲ	V
5	朝阳水文站	(0.493,0.097,0.024,0.000,0.386)	64.2	Ⅲ	V
6	顾洞河上	(0.400,0.043,0.103,0.000,0.454)	55.9	Ⅲ	V
7	顾洞河下	(0.463,0.047,0.110,0.000,0.380)	61.8	Ⅲ	V
8	章吉营	(0.455,0.000,0.164,0.000,0.381)	60.2	Ⅲ	V
9	西八千	(0.468,0.074,0.083,0.000,0.375)	62.9	Ⅲ	V
10	羊山	(0.457,0.088,0.000,0.000,0.455)	59.6	Ⅲ	V
11	女儿河入河口	(0.369,0.086,0.039,0.000,0.506)	53.5	Ⅳ	V
12	西树林	(0.318,0.019,0.067,0.100,0.496)	54.2	Ⅳ	V

指数法评价的所有点位的水质均较模糊评价法更差,如模糊评价显示顾洞河上和顾洞河下分别是Ⅲ类和Ⅱ类水,而单因子指数法显示的是V类和Ⅳ类水。同样在汛后 10 月,单因子指数法评价的所有点位也均较模糊评价法显示的水质更差。可见,单一指数法简单明了,容易发现主要污染物,但对水质有“过保护”的倾向,而模糊数学法能体现指标与标准之间的关系,相对更客观。因此,水质评价结合多种方法综合评判,才能更准确地掌握真实的水质状况。

3 结论

本研究采用单因子污染指数法和模糊综合评价法对大、小凌河水质进行评价,主要结论如下:(1)从单一指标上看,凌河流域 DO、NH<sub>3</sub>-N、TP 含量属于轻污染水平,且部分指标(如 TN、TP 含量)呈现汛前高于汛中和汛后的趋势,可能是由于汛期水量增大,污染物被稀释。其中,COD 部分点位污染较重,主要原因可能是周边工厂的工业废水和市区、乡镇的生活污水排入河流,导致水环境质量下降。(2)采用 5 项污染指数作为参数,水质模糊综合评价结果显示,流域整体水质较好。*d* 值均在 31.6~84.9 分之间波动,汛中和汛后水质均优于汛前,且流经东至卜漫水桥湿地、顾洞河湿地等人工湿地前后水质变好。水体主要污染物为 TN,可能是由于农业氮肥的使用和生活污水的排入导致水体营养元素含量升高。(3)单因子污染指数法对水质的评价结果较模糊数学法的评价结果较差,单一指数法对水质有“过保护”的倾向。结合多种方法综合评价水质,才能更准确地掌握水质状况。

参考文献:

[1]苗群. 南四湖水环境质量评价研究[D]. 青岛:青岛大学,2008.  
[2]薛巧英. 水环境质量评价方法的比较分析[J]. 环境保护科学,

2004,30(4):64-67.  
[3]Dahiya S,Singh B,Gaur S,et al. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007,147(3):938-946.  
[4]Liu H,Fang P P,Bian D D,et al. Fuzzy comprehensive evaluation for the motion performance of autonomous under water vehicles[J]. Ocean Engineering,2014(88):568-577.  
[5]Wang X J,Zou Z H,Zou H. Water quality evaluation of Haihe River with fuzzy similarity measure methods[J]. Journal of Environment Science,2013,25:2041-2046.  
[6]Liu J L,Chen Q Y,Li Y L,et al. Fuzzy synthetic model for risk assessment on Haihe River basin[J]. Ecotoxicology,2011,20(5,SI):1131-1140.  
[7]Onkal-Engin G,Demir I,Hiz H. Assessment of urban air quality in Istanbul using fuzzy synthetic evaluation[J]. Atmosphere Environment,2004,38:3809-3815.  
[8]Fisher B. Fuzzy environmental decision-making:applications to air pollution[J]. Atmosphere Environment,2003,37:1865-1877.  
[9]于军,李之富,李宁. 大凌河流域水质污染状况与评价[J]. 沈阳建筑工程学院学报(自然科学版),2002,18(4):295-297.  
[10]初征. 水环境质量评价中的几种方法[J]. 有色金属,2010,62(3):160-162.  
[11]兰文辉,安海燕. 环境水质评价方法的分析与探讨[J]. 干旱环境监测,2002,16(3):167-169.  
[12]陈润羊,涂安国. 长江流域水质评价与预测[J]. 环境科学与技术,2008,31(12):169-173,178.  
[13]周林飞,许士国,孙万光. 基于灰色聚类法的扎龙湿地水环境质量综合评价[J]. 大连理工大学学报,2007,47(2):240-245.  
[14]付智娟. 用模糊数学综合评价法对地下水水质进行评价[J]. 城市建设理论研究(电子版),2011(23):1-5.  
[15]孙韧,李玉,张瑞芝. 应用模糊数学评价和预测海河的水质状况[J]. 城市环境与城市生态,1998,11(4):33-35.