

# 模糊数学评价法在衡阳市环境空气质量评价中的应用探讨

刘作云

湖南环境生物职业技术学院, 湖南 衡阳  
Email: 64794068@qq.com

收稿日期: 2020年9月25日; 录用日期: 2020年10月19日; 发布日期: 2020年10月26日

## 摘要

为了解模糊数学评价法在环境空气质量评价中应用前景, 运用模糊数学评价法对2016年~2019年衡阳市环境空气质量及变化趋势进行分析。结果表明: 2016年~2019年期间衡阳市环境空气质量良好, 且呈逐步向好的趋势, 主要污染物为PM<sub>2.5</sub>, 其它依次为O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、CO和SO<sub>2</sub>; 衡阳市环境空气质量等级持续维持在II级; 空间分布上, 中心城区的县市区环境空气质量相对较差, 远离中心城区的县市区相对较好; 模糊数学评价法在环境空气主要污染物分析、空气质量等级分析、环境空气质量趋势分析和质量比较等方面具有广阔的应用前景。

## 关键词

环境空气, 质量, 模糊数学评价法

# Discussion on the Application of Fuzzy Mathematics Evaluation Method in Ambient Air Quality Evaluation of Hengyang City

Zuoyun Liu

Hunan Polytechnic of Environment and Biology, Hengyang Hunan  
Email: 64794068@qq.com

Received: Sep. 25<sup>th</sup>, 2020; accepted: Oct. 19<sup>th</sup>, 2020; published: Oct. 26<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

In order to understand the application prospect of fuzzy mathematics evaluation method in am-

**ambient air quality assessment, by using the fuzzy mathematics evaluation method to analyze the ambient air quality and trend of the change in Hengyang City from 2016 to 2019. The results show that: during 2016-2019, the ambient air quality of Hengyang City is good, and the trend is gradually improving. The main pollutant is PM<sub>2.5</sub>, and the others are O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO and SO<sub>2</sub> in turn. The ambient air quality level of Hengyang City continued to maintain at level II; In terms of spatial distribution, the ambient air quality of counties and urban areas in the central urban area is relatively poor, while that far away from the central urban area is relatively good; the fuzzy mathematics evaluation method has broad application prospect on used in the analysis of main air pollutants, air quality grade, the trend of ambient air quality change and ambient air quality comparison.**

## Keywords

**Ambient Air, Quality, Fuzzy Mathematics Evaluation Method**

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着社会经济的不断发展，人民群众对环境空气质量的关注越来越广泛，对环境空气质量的要求也越来越高。目前，国内生态环境保护部门对于环境空气质量的评价主要采取空气质量指数法(AQI)，其基本原理是先计算 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 六项污染因子的污染分指数，然后将最大污染分指数作为综合空气质量指数以确定主要污染物及污染程度。这种方法虽然简单易操作，能分辨某一区域的环境空气主要污染物及污染程度，但污染物在大气中同时存在时会有一定的协同作用，每一个污染因子对环境的影响都不能忽略。此外，空气质量指数在分析某一区域环境空气质量变化趋势时也存在一定缺陷。

模糊数学评价法能将影响环境质量的主要污染因子进行归一化处理，同时还能综合评价不同年份、不同区域环境质量及其变化趋势。在环境空气质量评价方面，王文姬等应用模糊数学综合评价法分析了甘肃省大气环境质量等级和主要污染物[1]；邓茂等运用模糊数学综合评价法对生态保护发展区大气环境进行了研究，发现“十二五期间”生态保护发展区大气环境质量基本处于清洁和轻度污染水平[2]；方降龙等以 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 和 PM<sub>10</sub> 作为评价因子，采用模糊综合评价方法对安徽省大气环境质量进行了评价，发现安徽省大部分城市首要大气污染物为 PM<sub>10</sub>，但铜陵市例外，SO<sub>2</sub> 的影响较大[3]。在水质评价方面，于玥利用模糊数学综合评价法对铁甲水库进行综合评价，避免了因个别监测项目结果过高而导致水质级别偏高的现象[4]；许仁智等采用模糊数学发对广西东兰坡豪湖水质进行评价，发现单因素模糊综合评价法对单个因素的影响敏感，尤其超标值对最后的相对隶属度贡献大[5]；申震对水质模糊数学评价法和常规水质评价法进行了对比，发现模糊评价法更多考虑了污染权重，评价结果更为客观[6]；黄若行利用数学综合评价法，客观地分析了博州地下水环境质量水平和各种超标物的隶属情况[7]；陈龙利用模糊数学评价法，对新疆和田地区地下水评价指标进行了归类处理和健康安全评价，认为该地区可使用的地下水为 40.7% [8]。已有的研究表明，模糊数学综合评价法在环境质量评价领域的应用前景十分广阔。

## 2. 方法与原理

模糊综合评价法以模糊数学理论为基础，通过模糊数学基本原理中的隶属度计算，实现从总体上定

量评价某一受多种因素制约的评价对象[9]。

### 2.1. 构建评价集合

首先构建评价对象集合  $U$ 。

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$$

然后构建评价标准集合  $V$ 。

$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

### 2.2. 设立隶属度函数

为了表示评价对象  $x$  属于评价标准  $A$  的程度高低, 常采用取值于区间[0,1]的隶属函数  $A(x)$ 。一般  $A(x)$  越接近于 0,  $x$  属于  $A$  的程度越低, 反之则越高。一般将隶属度分为三个区段, 并分别构建计算公式[10]。

$$j = 1 \text{ 时, } r_{ij} = \begin{cases} 0, & X_i \geq S_{i(j+1)} \\ \frac{S_{i(j+1)} - X_i}{S_{i(j+1)} - S_{ij}}, & S_{ij} < X_i < S_{i(j+1)} \\ 1, & X_i \leq S_{ij} \end{cases} \quad (1)$$

$$1 < j < n \text{ 时, } r_{ij} = \begin{cases} 0, & X_i \leq S_{i(j-1)} \text{ 或 } X_i \geq S_{i(j+1)} \\ \frac{X_i - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}}, & S_{i(j-1)} < X_i < S_{ij} \\ \frac{S_{i(j+1)} - X_i}{S_{i(j+1)} - S_{ij}}, & S_{ij} \leq X_i \leq S_{i(j+1)} \end{cases} \quad (2)$$

$$j = n \text{ 时, } r_{ij} = \begin{cases} 0, & X_i \leq S_{i(j+1)} \\ \frac{X_i - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}}, & S_{i(j-1)} < X_i < S_{ij} \\ 1, & X_i \geq S_{ij} \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $X_i$  表示  $i$  因素的评价值, 即实测值;

$S_{ij}$  表示  $i$  因素对应  $j$  级的标准值。

### 2.3. 构建模糊关系矩阵

将评价对象实测值和评价标准值代入隶属度函数计算公式中, 求出各个评价对象对应每一级评价标准的隶属度, 然后构成隶属度模糊关系矩阵  $R$ 。在环境空气质量评价中为  $6 \times 3$  矩阵(污染因子 6 项, 评价标准 3 级)。

$$R = \begin{bmatrix} r_{\text{PM}_{2.5},\text{I}} & r_{\text{PM}_{2.5},\text{II}} & r_{\text{PM}_{2.5},\text{III}} \\ r_{\text{PM}_{10},\text{I}} & r_{\text{PM}_{10},\text{II}} & r_{\text{PM}_{10},\text{III}} \\ r_{\text{O}_3,\text{I}} & r_{\text{O}_3,\text{II}} & r_{\text{O}_3,\text{III}} \\ r_{\text{SO}_2,\text{I}} & r_{\text{SO}_2,\text{II}} & r_{\text{SO}_2,\text{III}} \\ r_{\text{NO}_2,\text{I}} & r_{\text{NO}_2,\text{II}} & r_{\text{NO}_2,\text{III}} \\ r_{\text{CO},\text{I}} & r_{\text{CO},\text{II}} & r_{\text{CO},\text{III}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

## 2.4. 构建模糊权重矩阵

权重是指某一评价对象相对于评价标准的重要程度，强调评价对象的相对重要程度。采用超标倍数赋权法归一化计算各个评价对象的权重值  $a_i$ ，并构建模糊权重矩阵  $A$  [11]。

$$a_i = \frac{X_i/S_i}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{S_i}} \quad (5)$$

式中： $X_i$ 表示  $i$  因素的评价值，即实测值；

$S_i$ 表示  $i$  因素评价标准的均值。

$$A = (a_{PM_{2.5}}, a_{PM_{10}}, a_{O_3}, a_{SO_2}, a_{NO_2}, a_{CO})$$

## 2.5. 构建模糊综合评价结果矩阵

将模糊权重矩阵  $A$  和模糊关系矩阵  $R$  相乘，求得分级模糊综合评价结果矩阵  $B$  [10]。

$$B = A \times R = (a_{PM_{2.5}}, a_{PM_{10}}, a_{O_3}, a_{SO_2}, a_{NO_2}, a_{CO}) \times \begin{bmatrix} r_{PM_{2.5},I} & r_{PM_{2.5},II} & r_{PM_{2.5},III} \\ r_{PM_{10},I} & r_{PM_{10},II} & r_{PM_{10},III} \\ r_{O_3,I} & r_{O_3,II} & r_{O_3,III} \\ r_{SO_2,I} & r_{SO_2,II} & r_{SO_2,III} \\ r_{NO_2,I} & r_{NO_2,II} & r_{NO_2,III} \\ r_{CO,I} & r_{CO,II} & r_{CO,III} \end{bmatrix} = (b_I, b_{II}, b_{III}) \quad (6)$$

## 2.6. 模糊综合评价结果加权平均处理

将分级模糊综合评价结果按照评价标准级别进行加权平均处理，计算环境空气质量的权值隶属度  $R'$  [10]。

$$R' = \frac{b_I \times 1 + b_{II} \times 2 + b_{III} \times 3}{b_I + b_{II} + b_{III}} \quad (7)$$

# 3. 2016 年~2019 年衡阳市环境空气质量模糊数学评价

## 3.1. 基础数据及评价标准

### 3.1.1. 基础数据

按照《环境空气质量标准》(GB3095-2012)要求，评价  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $O_3$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$  和  $CO$  六项污染因子对环境空气质量的影响。通过查询衡阳市环境状况统计公报等资料，获取 2016 年~2019 年衡阳市环境空气中六项污染因子的年均浓度值(表 1)。

**Table 1.** Annual average concentration of ambient air pollution factors in Hengyang City from 2016 to 2019 (Unit:  $mg/m^3$ )

**表 1.** 2016 年~2019 年衡阳市环境空气污染因子年均浓度 单位： $mg/m^3$

年份	$PM_{2.5}$	$PM_{10}$	$O_3$	$SO_2$	$NO_2$	$CO$
2016 年	0.052	0.076	0.132	0.016	0.03	1.8
2017 年	0.049	0.07	0.141	0.016	0.028	1.7
2018 年	0.043	0.066	0.13	0.016	0.03	1.6
2019 年	0.043	0.068	0.125	0.013	0.027	1.3

### 3.1.2. 评价标准

《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中将环境空气功能区分为二类,对应的质量标准为二级[12]。为了提高综合评价结论的精确度,引入《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ633-2012)中环境空气质量轻度污染的最低浓度限值[13],设置三级评价标准(表 2)。

**Table 2.** Ambient air quality standards (Unit: mg/m<sup>3</sup>)

**表 2.** 环境空气质量标准 单位: mg/m<sup>3</sup>

评价标准等级	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO
I 级	0.015	0.04	0.1	0.02	0.04	4
II 级	0.035	0.07	0.16	0.06	0.04	4
III 级	0.075	0.15	0.2	0.15	0.08	10
平均值	0.042	0.087	0.153	0.077	0.053	6

## 3.2. 模糊数学评价法数据处理

### 3.2.1. 隶属度计算

将 2016 年~2019 年衡阳市环境空气中 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 和 CO 六项污染因子的年均浓度值代入隶属度函数分别计算各个年度的隶属度,得出每一年的六项污染因子的隶属度模糊关系矩阵。

$$R_{2016} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.575 & 0.425 \\ 0.000 & 0.925 & 0.075 \\ 0.467 & 0.533 & 0.000 \\ 1.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \end{bmatrix}, R_{2017} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.650 & 0.350 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \\ 0.317 & 0.683 & 0.000 \\ 1.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \end{bmatrix},$$

$$R_{2018} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.800 & 0.200 \\ 0.133 & 0.867 & 0.000 \\ 0.500 & 0.500 & 0.000 \\ 1.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \end{bmatrix}, R_{2019} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.800 & 0.200 \\ 0.067 & 0.933 & 0.000 \\ 0.583 & 0.417 & 0.000 \\ 1.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

### 3.2.2. 模糊权重矩阵计算

将 2016 年~2019 年衡阳市各项污染因子的平均浓度值代入权重值  $a_i$  计算公式进行归一化处理,得出各年的模糊权重矩阵。

$$A = \begin{bmatrix} 0.308 & 0.216 & 0.212 & 0.051 & 0.139 & 0.074 \\ 0.300 & 0.206 & 0.235 & 0.053 & 0.134 & 0.072 \\ 0.280 & 0.207 & 0.230 & 0.057 & 0.153 & 0.072 \\ 0.293 & 0.223 & 0.231 & 0.048 & 0.144 & 0.061 \end{bmatrix}$$

### 3.2.3. 模糊综合评价计算

将 2016 年衡阳市环境空气质量模糊权重矩阵和隶属度模糊关系矩阵相乘,得出 2016 年环境空气质量分级模糊综合评价结果矩阵。

$$B_{2016} = A_{2016} \times R_{2016} = (0.308, 0.216, 0.212, 0.051, 0.139, 0.074) \times \begin{bmatrix} 0.000 & 0.575 & 0.425 \\ 0.000 & 0.925 & 0.075 \\ 0.467 & 0.533 & 0.000 \\ 1.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \end{bmatrix} = (0.1505, 0.7026, 0.1469)$$

同理，可计算 2017 年~2019 年衡阳市环境空气质量分级模糊综合评价结果(表 3)。

**Table 3.** Grading fuzzy comprehensive evaluation results

**表 3.** 分级模糊综合评价结果

年份	分级模糊综合评价结果			最大值	环境空气质量等级
	I 级	II 级	III 级		
2016 年	0.1505	0.7026	0.1469	0.7026	II 级
2017 年	0.1275	0.7675	0.1050	0.7675	II 级
2018 年	0.1995	0.7444	0.0561	0.7444	II 级
2019 年	0.1979	0.7435	0.0586	0.7435	II 级

#### 3.2.4. 模糊综合评价结果加权平均处理

将 2016 年衡阳市环境空气质量分级模糊综合评价结果代入加权平均处理计算公式，得出 2016 年衡阳市环境空气质量的权隶属度。

$$R'_{2016} = \frac{0.1505 \times 1 + 0.7026 \times 2 + 0.1469 \times 3}{0.1505 + 0.7026 + 0.1469} = 1.9965$$

同理，可计算 2017 年~2019 年衡阳市环境空气质量模糊综合评价结果加权平均处理结果(表 4)。

**Table 4.** Weighted average processing results

**表 4.** 加权平均处理结果

年份	加权平均处理结果	排序
2016 年	1.9965	4
2017 年	1.9775	3
2018 年	1.8566	1
2019 年	1.8607	2

## 4. 模糊综合评价结果应用

### 4.1. 主要污染物分析

采用超标倍数赋权法归一化计算得出衡阳市各年六项污染因子的模糊权重矩阵后，可以从各年的权重分配情况比较出每个年度的主要环境空气污染物，如 2019 年衡阳市环境空气中 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 六项污染因子的模糊权重分别为 0.293、0.223、0.231、0.048、0.144、0.061，因此，2019 年影响衡阳市环境空气质量的主要污染物为 PM<sub>2.5</sub>。

### 4.2. 环境空气质量等级分析

经计算得出每一年度环境空气质量分级模糊综合评价结果矩阵后，通过比较每一年环境空气质量各个

等级的权重分布情况,即可判别每一年的环境空气质量等级。如2019年衡阳市环境空气质量的分级模糊综合评价结果为I级0.1979、II级0.7435、III级0.0586,则2019年衡阳市的环境空气质量等级为II级。

### 4.3. 环境空气质量变化趋势分析

通过计算衡阳市每一年各项污染因子的模糊权重、分级模糊综合评价结果和加权平均处理结果,并进行统计分析和比较,了解和掌握历年来衡阳市主要污染因子、环境空气质量等级变化情况和趋势。

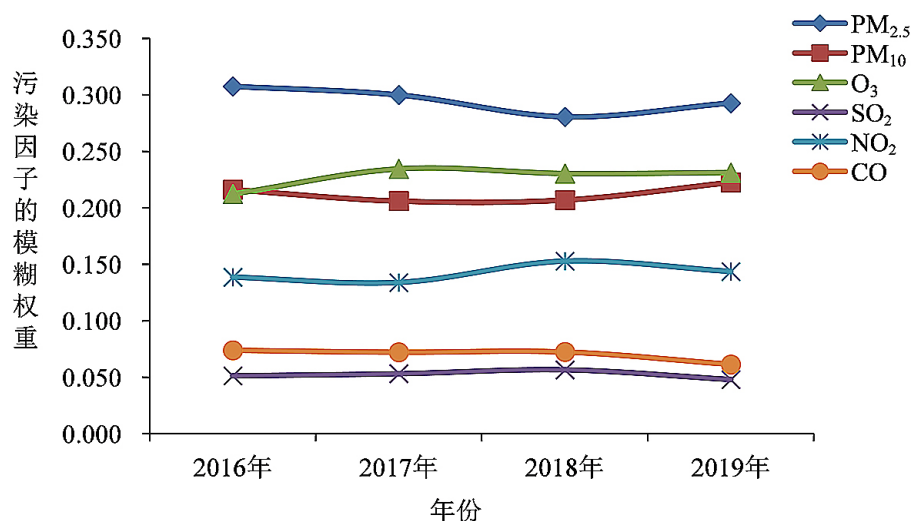


Figure 1. Weight distribution and change trend of main pollution factors

图 1. 主要污染因子权重分布及变化趋势

从图1可以看出,自2016年以来,衡阳市环境空气质量的主要影响因子均为PM<sub>2.5</sub>,其次为O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、CO,影响最小的为SO<sub>2</sub>,且各项污染因子对环境空气质量的影响相对稳定。

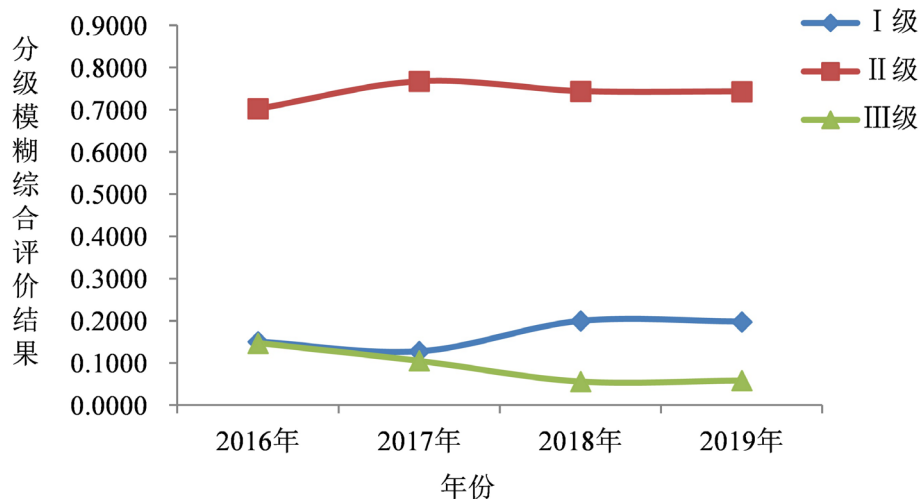


Figure 2. Distribution and change trend of hierarchical fuzzy comprehensive evaluation results

图 2. 分级模糊综合评价结果分布及变化趋势

从图2可以看出,自2016年以来,衡阳市环境空气质量II级所占比重远高于I级和III级。自2018年以来,II级所占比例维持稳定,I级的比重明显增加,III级比重明显减少,全市环境空气质量总体向



好趋势明显。

此外,从2016年~2019年衡阳市环境空气质量模糊综合评价结果的加权平均处理结果可以看出,自2016年以来,衡阳市环境空气质量整体逐步提升,但2019年较上一年度有细微反弹,与模糊权重矩阵计算的主要污染物权重值反弹趋势一致。

#### 4.4. 环境空气质量比较

通过计算不同城市的环境空气质量评价结果的加权平均处理结果,可以比较城市间环境空气质量优劣,且这种计算方法为全因子比较法,较AQI指数法等单因子比较法更加全面,综合考虑了各种污染因子对环境空气质量的影响。

采用模糊数学综合评价法对衡阳市12个县市区的环境空气质量实测数据进行处理,按照模糊综合评价结果的加权平均处理结果大小进行排序,即可得出全市每一年各个县市区的环境空气质量优劣情况和逐年变化趋势。

**Table 5.** Ranking of ambient air quality in counties and urban areas of Hengyang City from 2016 to 2019  
**表 5.** 2016 年~2019 年衡阳市各县市区环境空气质量排名

评价区域	2016 年		2017 年		2018 年		2019 年	
	综合评价价值	排名	综合评价价值	排名	综合评价价值	排名	综合评价价值	排名
全市	1.9965	-	1.9775	-	1.8566	-	1.8607	-
雁峰区	2.0054	9	1.9344	9	1.8716	8	1.8554	8
珠晖区	1.9716	7	2.0003	12	1.8986	9	1.8180	5
石鼓区	2.0295	11	1.8896	6	1.9577	12	1.8924	12
蒸湘区	2.0156	10	1.9766	10	1.9174	10	1.8881	11
南岳区	1.7239	2	1.6368	1	1.7101	1	1.6245	1
衡东县	1.9820	8	1.9324	8	1.8106	4	1.8490	7
祁东县	1.8596	4	1.8277	4	1.7283	2	1.7091	4
耒阳市	1.8959	5	1.8734	5	1.8554	7	1.8868	10
衡南县	2.0560	12	1.8906	7	1.8206	5	1.8251	6
常宁市	1.6088	1	1.6922	2	1.7391	3	1.6827	2
衡山县	1.9715	6	1.9849	11	1.8444	6	1.8841	9
衡阳县	1.8223	3	1.7801	3	1.9189	11	1.7066	3

从上表5可以看出,衡阳市12个县市区中,南岳区、常宁市、祁东县的环境空气质量相对较好;石鼓区、蒸湘区、雁峰区、珠晖区等城区的环境空气质量相对较差;衡阳县的环境空气质量变化幅度较大。

## 5. 结论与展望

### 5.1. 结论

1) 2016年~2019年期间,衡阳市环境空气质量良好,且呈逐步向好的趋势;影响全市环境空气质量的主要污染物为PM<sub>2.5</sub>,其次为O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>,而NO<sub>2</sub>、CO和SO<sub>2</sub>的影响相对较小;全市12个县市区中,城区的县市区环境空气质量相对较差。

2) 使用模糊数学综合评价法进行环境空气质量评价可以综合六项污染因子的影响,同时兼具主要污



染物分析、空气质量等级分析、环境空气质量趋势分析和质量比较等功能,应用前景开阔。

3) 基于模糊数学综合评价法的环境空气质量评价方法,通过对监测数据的归一化处理,能提高计算结果的准确度、精确度和可比性,使评价结果更加科学。

## 5.2. 展望

1) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中,NO<sub>2</sub>的I级和II级均为0.04 mg/m<sup>3</sup>,CO的I级和II级均为4 mg/m<sup>3</sup>,在进行污染因子隶属度计算时不够精确,在采用模糊数学综合评价法进行环境空气质量评价时,宜按照质量优先的原则将NO<sub>2</sub>和CO的I级标准分别设置为0.02 mg/m<sup>3</sup>和2 mg/m<sup>3</sup>,进一步提高综合评价结论的精确度,提升评价结果的可比性。

2) 模糊数学综合评价法是一种基于数学原理的数据处理方法,应用于环境监测结果处理后,可以探讨将方法和模型程序化,以规范计算过程、提高工作效率、增强环境监测结果的信息化程度等。

3) 目前环境保护管理部门出具的生态环境质量状况公报普遍存在形式和内容不一致,报告质量良莠不齐等问题,建议采用模糊数学综合评价法等规范的评价方法进行统一,定期公布评价结果,增大公开力度,扩大民众知晓程度。

4) 环境空气质量的影响因素很多,在分析环境空气质量和变化趋势的同时,应当加强环境空气质量影响因素的研究,如气象条件、能源消耗、汽车尾气、经济情况等,加大污染的预报预测,及时防控,提高环境空气质量,提升城市宜居水平。

## 基金项目

湖南省自然科学基金项目(2018JJ5028);湖南环境生物职业技术学院支柱工程资助项目(No. 201912)。

## 参考文献

- [1] 王文姬,袁泉,刘云涛,等. 基于模糊数学评价法下的甘肃省大气环境质量综合评价[J]. 甘肃高师学报, 2019, 24(5): 43-47.
- [2] 邓茂,张永江,李莹莹,等. 基于模糊数学综合评价法的生态保护发展区大气环境研究[J]. 西南师范大学学报, 2017, 42(7): 5-11.
- [3] 方降龙,刘鹏. 安徽省大气环境质量模糊综合评价[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(26): 9094-9096, 9103.
- [4] 于玥. 模糊数学综合评价法在水质评价中的应用[C]//辽宁省水利学会 2020 年度“水与水技术”专题文集. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2020: 21-23.
- [5] 许仁智,齐国翠,曹晶潇,等. 基于模糊数学法的广西东兰坡豪湖水质评价[J]. 河池学院学报, 2018, 38(5): 24-29.
- [6] 申震. 模糊数学在水质评价中的应用[J]. 市政技术, 2017, 35(6): 104-106, 112.
- [7] 黄若行. 基于数学综合评价法的博州地下水环境质量评价[J]. 地下水, 2018, 40(2): 27-30.
- [8] 陈龙. 基于模糊数学评价法地下水健康评估风险分析[J]. 水科学与工程技术, 2019(4): 15-18.
- [9] 梁淑轩,吴虹,李占臣,等. 环境空气质量动态变化规律的模糊数学综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(6): 77-81.
- [10] 彭琛玲. 湖南省环境空气质量评价及其影响因素分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [11] 聂险峰,蒋琼. 基于模糊数学原理的车内空气质量评价方法研究[J]. 汽车工艺与材料, 2020(4): 10-13.
- [12] GB3095-2012. 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [13] HJ633-2012. 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.