

mg/m³ 之间, 该阈值确定尚需做进一步研究工作。

致谢: 本试验得到辽宁大学刘荣坤、江苏省植物研究所陈树元、农业部天津环保监测所张跃民、张洪生、王晓霞等同志的现场指导和帮助, 在此谨表谢意。

参 考 文 献

- [1] 华中农学院, 果树研究法, 46—53 页, 农业出版社, 1985 年。
- [2] 刘荣坤, 辽宁大学学报, 65(1982)。
- [3] 杨文衡等, 果树生长与结实, 58—59 页, 上海科学技术出版社, 1986 年。

(收稿日期: 1988 年 6 月 21 日)

区域环境质量评价的一种系统方法——FCAP 法

熊韶峻 尹怀宁

(辽宁师范大学生物系)

摘要 本文应用 Fuzzy 原理, 将动态聚类、综合评判和模糊概率相结合; 在对总区域环境进行动态聚类区划的基础上, 先行各亚区域环境质量评价, 然后考虑各亚区域在总区域环境中的权重, 综合给出区域环境内环境的“总”质量评价。三种途径相结合并互相补充, 使评价方法系统化。

一、引 言

环境质量的评价是环境学研究的重要课题。由于环境因素在时空上的多变性和复杂性并因而伴随的模糊性, 近来一些学者试图运用模糊数学 (Fuzzy) 的原理和方法评价和预报区域环境的质量^[1-3], 为环境质量的研究开辟了新途径。然而, 在环境质量的研究中, 对一定范围内的区域环境进行区划和质量评估是同一问题相互联系的不同侧面。都应同样地客观、可靠和减少人为性。而单一方法的局限性, 难以系统地 and 令人信服地做到这一点。为此, 本文采用将模糊数学 (F-Fuzzy) 中的动态聚类 (C-Cluster)、综合评判 (A-Assessment) 和模糊概率 (P-Probability) 相结合的方法, 对大连市区大气环境质量进行了区划和评价; 以试图为环境质量的研究提供一种系统的方法——FCAP 法。

二、原理与方法

依据大连市 1984 年所测 14 个监测点大气中 NO_x、CO、TSP、和 SO₂ 四季日平均浓度, 将 14 个测点作为分类实体, 四个因素作为分类属性; 先进行 Fuzzy 动态聚类分析, 划分为不同的亚区域, 然后对各亚区的大气四季平均质量状况作 Fuzzy 综合评价。最后, 通过 Fuzzy 概率分析, 将各亚区的质量评价结果权衡为“总”的区域环境质量。

FCAP 的原理和方法、步骤均参照文献 [4]。篇幅所限不再赘述。计算过程编制成 BASIC 解释程序由计算机完成。其中有关公式说明如下:

1. 数值的标准化采用极大值法:

$$X_{ij} = X'_{ij} / X_{mj}$$

($i = 1, 2, \dots, 14; j = 1, 2, 3, 4$) (1)

式中, X'_{ij} ——第 i 测点所测第 j 项污染物四

表 1 四种大气污染物分级标准阈 (mg/m^3)

	I 级	II 级	III 级	IV 级
NO_x	$c \leq 0.05$	$0.05 < c \leq 0.10$	$0.10 < c \leq 0.15$	$c > 0.15$
CO	$c \leq 2.00$	$2.00 < c \leq 4.00$	$4.00 < c \leq 6.00$	$c > 6.00$
T. S. P.	$c \leq 0.15$	$0.15 < c \leq 0.30$	$0.30 < c \leq 0.50$	$c > 0.50$
SO_2	$c \leq 0.05$	$0.05 < c \leq 0.15$	$0.15 < c \leq 0.25$	$c > 0.25$

季日平均浓度; $X_{mi} = \max_j X'_{ij}$

2. 模糊相似性值采用下式求取:

$$r_{ik} = 1 - \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (X_{ij} - X_{kj})^2} \quad (2)$$

($i, k = 1, 2, \dots, 14; j = 1, 2, 3, 4$)

r'_{ik} 即为第 i 与 k 个分类实体(测点)间的模糊相似性值。

3. 综合评判的评价因素集合 $\mathcal{A}$ 中各环境因素的权重由公式 (3)^[2] 确定:

$$a_j = \frac{\bar{c}_j/s_j}{\sum_{j=1}^4 \bar{c}_j/s_j} \quad (j = 1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^4 a_j = 1; \bar{c}_j = \left(\sum_{i=1}^{14} X'_{ij} \right) / 14$$

其中, a_j 为 j 项污染物(评判因素)的权重; s_j 为 j 项污染物所容许的最大标准浓度。根据国家大气质量分级原则, III 级标准是我国大气质量标准的极限。在此极限内, 生物机体反应处于功能代偿范围以下, 人群一般不发生急、慢性中毒; 城市一般动、植物可正常生长。故选用国家 III 级标准值确定 s_j 。

4. 模糊变换 $R = \{r_{ij}\}_{4 \times 4}$ 中的隶属度 r_{ij} 由 CQ 法^[5]求得。其中的污染级别亦根据国家颁布的大气质量三级标准(表 1)确定。为方便起见, 作者自定超过 III 级标准阈限为第 IV 级。

三、结 果

(一) 区域大气环境的聚类与区划

将大连市区 14 个测点所测四种大气污染物四季日平均浓度值由公式 (1)、(2) 分别处理后, 先行 Fuzzy 动态聚类。经计算机运

算, 合成四次后得到模糊等价关系矩阵(表 2); 并进而绘出动态聚类图如图 1 所示。

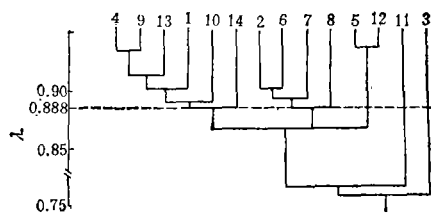


图 1 大连市区大气环境动态聚类图

显然, 当取 $\lambda = 0.888$ 时, 14 个测点可归并成五类, 划分为四个亚区域。

第一亚区, 即第一类。有 6 个点组成: {4, 9, 13, 1, 10, 14}; 包括石油七厂、春柳小区、星海三站、大连染料厂、大钢俱乐部和民航疗养院。

第二亚区, 即第二类。有 4 个点: {2, 6, 7, 8}; 即包含重型机械厂、电子元件厂、花园广场和大众影院。

第三亚区, 即第三类。有 2 个点组成: {5, 12}; 包括大连皮革厂和工农兵影院。

第四亚区, 系由第四类的一个点 {3} 和第五类的一个点 {11} 构成。其分别为大连化工厂和青泥洼桥。由图 2 可以看出将这二

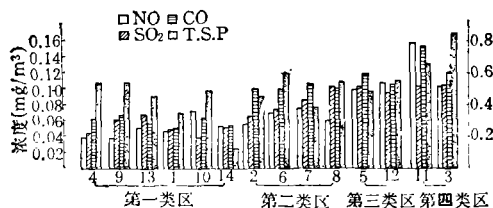


图 2 四种污染物浓度实际分布

左边纵坐标为 NO_x 、 SO_2 浓度, 右边为 CO 、 T.S.P. 浓度。

表2 分类实体间的模糊等价关系

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.大连染料厂	1	0.869	0.760	0.902	0.869	0.869	0.869	0.869	0.902	0.891	0.765	0.869	0.902	0.888
2.重型机械厂		1	0.760	0.869	0.871	0.926	0.893	0.888	0.869	0.869	0.765	0.871	0.869	0.869
3.大连化工厂			1	0.760	0.760	0.760	0.760	0.760	0.760	0.760	0.760	0.760	0.760	0.760
4.石油七厂				1	0.869	0.869	0.869	0.869	0.933	0.891	0.765	0.869	0.912	0.888
5.大连皮革厂					1	0.871	0.871	0.871	0.869	0.869	0.765	0.935	0.869	0.869
6.电子元件厂						1	0.893	0.888	0.869	0.869	0.765	0.871	0.869	0.869
7.花园广场							1	0.888	0.869	0.869	0.765	0.871	0.869	0.869
8.大众影院								1	0.869	0.869	0.765	0.871	0.869	0.869
9.春柳小区									1	0.891	0.765	0.869	0.912	0.888
10.大钢俱乐部										1	0.765	0.869	0.891	0.888
11.青泥洼桥											1	0.765	0.765	0.765
12.工农兵影院												1	0.869	0.869
13.星海三站													1	0.888
14.民航疗养院														1

个点划分到一个亚区是有一定道理的。

(二) 亚区域水平的大气环境质量评价

由公式(3),可求得大连市区域内四种大气污染物所占权重。其计算过程如表3所示。

表3 四种大气污染物的权重

	NO _x	CO	TSP	SO ₂
$\bar{c}_j$	0.0731	4.3814	0.4949	0.0761
s_j	0.15	6.0	0.50	0.25
$a_j = \frac{\bar{c}_j/s_j}{\sum \bar{c}_j/s_j}$	0.1940	0.2907	0.3941	0.1212

实际上,表3中的 a_j 值即为评判因素集合 $A = \{NO_x, CO, TSP, SO_2\}$ 中相应各元素的权数值:

$$A = \{0.1940, 0.2907, 0.3941, 0.1212\}$$

(4)

式(4)表明,在所测四种大气污染物中,相比之下,TSP的权重最大;其次为CO;再次为NO_x;SO₂所占权重最小。

对照我国大气质量标准分级原则,本文规定:当污染物浓度日平均值位于国家I级标准阈限内,属于“清洁”;位于II级标准阈限内,属于“轻污染”;位于III级标准范畴的,属于“中污染”;当超出III级标准,属于“重污染”水平。据此,可由表1用CQ法求得各亚

区域不同污染物相应于“清洁”、“轻污”、“中污”和“重污”的隶属度值 r_{ij} 。进而,便有四个亚区域之模糊转换矩阵 $R_k = \{r_{ij}\}_{4 \times 4}$:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5492 & 0.4508 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3990 & 0.6010 & 0 \\ 0.9810 & 0.0190 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.6960 & 0.3040 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5479 & 0.4521 & 0 \\ 0 & 0.1305 & 0.8695 & 0 \\ 0.6960 & 0.3040 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.9440 & 0.0580 & 0 \\ 0 & 0.3582 & 0.6418 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.5100 & 0.4900 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.4220 \\ 0 \\ 0 \\ 0.8270 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.5780 \\ 0 \\ 0 \\ 0.1730 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

由 $B = A \circ R$,可得四个亚区域污染状况的综合评判结果 B_k 。亦即各亚区域大气环境质量分别隶属的权数分配(表4)。

评判结果表明,第一亚区的环境质量介于“轻污”和“中污”之间;可以认为属于“偏轻污染区”或“偏中污染区”。第二亚区属于“中

表 4 亚区域环境质量的综合评价

$\mu_{A_j}(u_k)$	A_j				
		清洁	轻污染	中污染	重污染
第一亚区		0.2694	0.3653	0.3653	0
第二亚区		0.2208	0.3308	0.4485	0
第三亚区		0.1105	0.2651	0.2651	0.3594
第四亚区		0.	0.2481	0.2481	0.5039

污染区”。第三亚区和第四亚区同属于“重污染区”；但相对而言，可以认为第三亚区为“较重污染区”；而第四亚区为“重污染区”，因其污染程度最重，反映在属于“重污染”水平的权重最大。

(三) 区域环境的“总”质量评价

由 Fuzzy 概率原理^[4]，设 A 为论域

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

上的模糊集， $\mu_A(u_i)$ 为模糊事件 u_i 在 A 上的隶属函数值。且有：

$$A = \mu_A(u_1)/u_1 + \mu_A(u_2)/u_2 + \dots + \mu_A(u_n)/u_n$$

若已知 u_i 发生的概率为 p_i ，则有：

$$P(A) = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) \cdot p_i \quad (5)$$

$P(A)$ 称为模糊集合 A 在 U 上的模糊概率。

因此，设 A_j 表示模糊事件集合“区域环境质量属 j 级”($j = \text{I}, \text{II}, \text{III}, \text{IV}$)；取论域 U 为聚类所得的四个亚区域。

由表 4 可直接查得模糊事件“第 k 亚区(u_k)”环境质量隶属于 j 级水平的隶属度 $\mu_{A_j}(u_k)$ ($j = \text{I}, \text{II}, \text{III}, \text{IV}; k = 1, 2, 3, 4$)。而相应事件 u_k 发生的概率值 p_i 可以通过统计各亚区域的测试点数占总测试点数的比例求得。

例如：从表 4 可查出当 $j = \text{I}$ ，即 A_1 为“区域环境质量属于清洁水平”的模糊集合时，

$$\begin{aligned} \mu_{A_1}(u_1) &= 0.2694; \quad \mu_{A_1}(u_2) = 0.2208 \\ \mu_{A_1}(u_3) &= 0.1105; \quad \mu_{A_1}(u_4) = 0 \end{aligned}$$

而统计可得各亚区包含的测试点数占总测试点的比例分别为：

$$p_1 = 6/14 = 0.4286; \quad p_2 = 4/14 = 0.2857$$

$$p_3 = p_4 = 2/14 = 0.1429$$

这样，由公式 (5) 便可得出“区域环境总质量属于清洁水平”的模糊概率

$$\begin{aligned} P(\text{清洁}) &= 0.2694 \times 0.4286 + 0.2208 \\ &\quad \times 0.2857 + 0.1105 \times 0.1429 \\ &\quad + 0 \times 0.1429 = 0.1493 \end{aligned}$$

同理可得：

$$\begin{aligned} P(\text{轻污}) &= 0.3653 \times 0.4286 + 0.3308 \\ &\quad \times 0.2857 + 0.2651 \times 0.1429 \\ &\quad + 0.2481 \times 0.1429 = 0.3244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\text{中污}) &= 0.3653 \times 0.4286 + 0.4485 \\ &\quad \times 0.2857 + 0.2651 \times 0.1429 \\ &\quad + 0.2481 \times 0.1429 = 0.3580 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\text{重污}) &= 0.3594 \times 0.1429 + 0.5039 \\ &\quad \times 0.1429 = 0.1234. \end{aligned}$$

显而易见，大连市大气环境“总”质量属于 III 级的模糊概率最大；应归属于“中污染”城市。

四、讨 论

区域环境是由若干亚区域或更小的区域单元所构成，因此，先将区域环境划分为不同的亚区域，并随之进行相应的质量评价，而后再综合成区域环境的“总”质量评价，似乎更能体现区域环境质量的时空动态特征和系统的变化，从而更便于宏观控制和区域规划。

环境质量的评判过程中加权与分级是容易引起争议的问题，常常因人而异。因此，选用统一的、客观的标准似乎是解决这一问题的关键。本文中使用 FCAP 法，并取国家标准作为加权和分级的依据，克服了单一方法的局限性，又避免了一些加权与分级上的主观性，所得结果似乎更能令人信服。

在聚类分亚区之前原始数据的标准化处理，对于环境质量评价的客观性也有着不容忽视的影响。本文鉴于原始数据的性质是以

表现连续的空间梯度为特征,故选用极大值标准化法。与其它标准化方法相比,信息损失少。

本方法可用于多因素环境质量的综合评价,也可用于单因素随季节变化的环境质量评价。还可用于短期的环境质量预测预报。因此具有一定的实用性。

参 考 文 献

- [1] 郑家祥等,环境科学学报,4(3): 197~203(1984).
- [2] 李祚泳等,同上. 204~213
- [3] 容跃等,环境科学,3(2), 69~72(1982).
- [4] 贺仲雄,模糊数学及其应用 72~215. 天津科技出版社,1983 年版.
- [5] 冯晋臣等,生物化学与生物物理进展 (3), 30~34 (1985).

(收稿日期: 1988 年 6 月 27 日)

• 环境信息 •

农作物与“温室效应”

有些科学家相信,到 2050 年大气中 CO_2 水平将增加近一倍。农业专家正在研究大气中 CO_2 浓度增加称之为“温室效应”将如何影响农作物的生长和产量。

设在美国马里兰州 Beltsville 的美国农业部农业研究服务站气候影响规划组的负责人 W. D. Kemper 说, CO_2 浓度增高对农业有利,“其他部门科学家在谈论‘温室效应’带来干旱、减产和海平面升高等灾难情景时,我们的资料却表明‘温室效应’对人类有利。小麦、水稻、玉米这三大主要粮食作物将因 CO_2 超常而得到益处,这是无可置疑的”。有些农业专家赞成 Kemper 的观点。土壤学家 B. A. Kimball 说:“可以明确证明在 CO_2 充裕的环境中作物具有更大的生产力”。但是,并不是所有的作物

对 CO_2 浓度增加反应都一样。据 Kimball 说,如果大气中 CO_2 浓度增加一倍,棉花产量很可能会增加 80%,小麦、水稻等粮食作物只能增加 36%,而玉米只能增产 16%。这是根据试验证明和计算机对作物生产和产量的预测得出结论的。土壤学家 H. Allen Jr. 说:“检验我们计算机预测的一个方法是回顾过去”。Allen Jr. 在户外开顶式薰气室中控制 CO_2 的不同浓度种植水稻和大豆,分别按照工业革命前 CO_2 浓度(远比现在低)和 1973 年一倍和二倍 CO_2 浓度的试验条件下进行。试验结果表明,产量确实提高了。提高 CO_2 浓度还影响到另一些植物,如杂草的生长。

河南农业大学田朝阳摘译自

Futurist, July-August issue, 1988.