

土壤环境污染指数的探讨

夏增禄 穆从如 李森照

(中国科学院地理研究所)

环境质量现状评价和预测评价在目前环境科学中,正处于广为应用和发展的时期。环境质量指数是评价环境质量的一个重要指标。国内外已广泛应用这一指数来评价环境质量的现状和变化趋势。但是,这些指数系统形式繁多,公式各异。有些指数还会引起错觉,得出错误的结论。因此,通过实际工作,对现有某些指数系统进行分析、讨论,建立统一的、能反映客观现状的指数系统,是目前环境质量评价工作中的一个重要问题。

在各种环境质量指数中,研究较早和较多的是水质指数和大气质量指数。土壤系统的质量指数发展较慢,国外报道很少,国内也刚开始。本文主要结合实际数值,就目前污水灌区土壤环境质量评价中应用的几种指数进行讨论。

(一)

在我国污水灌区环境质量评价中已公开应用的分指数有两种。一种是以污染物的实测浓度(C_i)与环境卫生允许浓度标准相比来表示^[1,2,3]:

$$I_i = \frac{C_i}{C_0} \quad (1)$$

一般认为这种方法的优点是具有等价特性,便于对比。第二种方法是以实测浓度与污染起始值之比来表示^[4]:

$$I_i = \frac{C_i}{x_a} \quad (2)$$

x_a 为某污染物的自然平均含量加二倍标准离

差($x_a = \bar{x}_0 + 2S$)。这一方法求出的指数,实际上是表示超过某污染物“污染起始值”的程度。各种污染物的指数之间无等价关系。

在综合指数方面,也提出过两种方法。一种是各污染物指数的加和平均^[1,2]:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (3)$$

一种是用平均值平方与最大值平方之和的平均值开平方的方法来表示^[5,4,3]:

$$P = \sqrt{\frac{\text{平均}(C_i/C_0)^2 + \text{最大}(C_i/C_0)^2}{2}} \quad (4)$$

(二)

(1)式是目前在环境各要素评价中应用较广泛的一种分指数。这一方法的优点是以卫生标准作基础,既目的明确,也具有可比较的等价特性。但是,在我们的计算中发现,以往所认为具有等价的性质并非完全如此,实际上不完全等价。从(1)式中我们可以看出, C_i 和 C_0 都包含着两部分:一部分是某污染物的本底含量,它是相对稳定的;一部分是污染的量,它是指数所要表明的部分。指数等价的概念主要是体现在污染的部分,而不是体现在自然的历史发展过程中与人体之间相矛盾统一的本底部分。但是,由于土壤中各污染物的本底含量各不相同,差异甚大(如北京地区Cd为0.052 ppm,As达8.19 ppm),当这些不同的数值与标准 C_0 相比时,它们所占的份额就十分不同了。如Cd的本底含量仅占标准 C_0 的1/58。而As则占到1/4。当

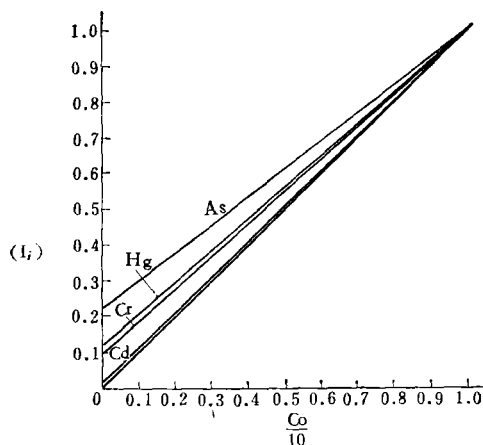


图1 用(1)式计算的变化过程图

两种重金属的含量仅为本底含量时,两者的指数已有明显的差别,分别为 0.017 和 0.228. 从图 1 几种重金属的指数变化直线关系可以看出,各种元素的指数不仅相对于同一标准时不一样,而且相互间的指数关系也在不断变化.它们并不完全等价.这种不等价的因素在进行指数综合时,会进一步被夸大,甚至在一定情况下得出错误结论.

第二种分指数 [(2)式] 是以某污染物的起始值作为基础.起始值是某污染物的自然含量平均值加二倍标准差而成,它主要决定于自然含量.因此,污染起始值作为一种评定自然含量的因素是合适的.但是,污染主要是对人类活动而言,把这种评定自然含量的污染起始值作为评定污染的尺度,其实际意义就不及第一种指数了.此外,由于各污染物的起始值各不相同,差异很大,用它作为尺度求出的指数就不具有等价的属性,各污染物的指数之间也难于对比.如图 2 所示,在同一标准含量下,各污染物的指数各不相同,不同标准的指数变化直线也不相同,其中 Cd 的增大最为显著.当土壤的含量达到标准时, Hg, Cd, As, Cr 的指数各为 4.3、27.8、3.2、6.7. 这种差别,不仅使各元素之间的污染指数无法对比,而且也很难直接进行综合.

环境质量指数是将大量原始数据加以概

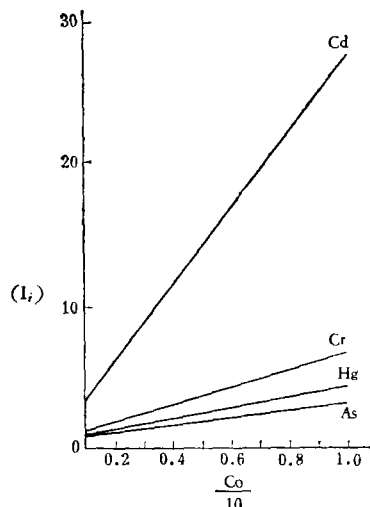


图2 用(2)式计算的变化过程

括,提纲挈领地用少数几个相对数值表达环境的质量.它具有简单扼要、综合概括的优点.环境质量指数的一个很重要的属性,是概括了各种污染物的共性.有了这种属性,各种污染物才能在无量纲的基础上便于综合概括,化繁为简.因此,(1)式作为环境质量指数的一个基本公式是比较适宜的.但是,(1)式中共性的不纯部分需要作适当修正,使它具有更为纯正的无量纲属性.以下是我们提出的算式:

$$I_i = \frac{C_i - B_i}{C_0 - B_i} \quad (5)$$

B_i 为土壤某污染物的本底值.

根据(5)式,我们进行了理论计算,并与(1)式和(2)式计算的数值相比较,结果列于表 1 中.从表 1 可以看出,用这一方法 [(5)式] 算出的结果,各种污染物的质量指数在同一量级都是一样的,达到了完全的无量纲属性.用(1)式计算的结果,各种污染物的质量指数在同一量级并不相同.有的相差达 0.2,表现出不等价现象.用(2)式计算的结果,在同一量级,差异很大,有的相差竟达 8 倍之多,表现出严重的不等价现象.在实际工作中,通过三种方法的计算进行比较,也可看出

表 1 不同算式的 I_i 值

项 目	As										
实测值 (ppm)	36.00	33.22	30.44	27.66	24.88	22.10	19.32	16.57	13.76	10.97	8.19
(5)式	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.00
(1)式	1.00	0.92	0.85	0.77	0.69	0.61	0.54	0.46	0.38	0.30	0.23
(2)式	3.21	2.96	2.72	2.47	2.22	1.97	1.72	1.48	1.23	0.96	0.70

项 目	Cd										
实测值 (ppm)	3.00	2.71	2.41	2.12	1.82	1.53	1.23	0.94	0.64	0.35	0.50
(5)式	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.00
(1)式	1.00	0.90	0.80	0.71	0.61	0.51	0.41	0.31	0.21	0.12	0.02
(2)式	27.78	25.05	22.32	19.57	16.86	14.13	11.40	8.67	5.94	3.12	0.05

项 目	Hg										
实测值 (ppm)	1.50	1.37	1.23	1.10	0.96	0.83	0.69	0.56	0.42	0.29	0.16
(5)式	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.00
(1)式	1.00	0.91	0.82	0.73	0.64	0.55	0.46	0.37	0.28	0.19	0.10
(2)式	4.29	3.90	3.52	3.13	2.75	2.37	1.98	1.60	1.21	0.83	0.45

表 2 不同算式求出的 I_i 值*

灌区	算式	Hg	Cd	As	Cr
1	(5)式	0.293	0.006	0.012	0.070
	(1)式	0.367	0.023	0.237	0.161
	(2)式	1.571	0.639	0.761	1.076
2	(5)式	1.039	0.170	0.027	0.105
	(1)式	1.035	0.185	0.193	0.193
	(2)式	4.437	5.083	0.798	1.288
5	(5)式	0.151	0.035	0.000	0.032
	(1)式	0.239	0.052	0.218	0.127
	(2)式	1.026	1.435	0.701	0.846
6	(5)式	0.061	0.006	0.008	0.031
	(1)式	0.159	0.023	0.233	0.126
	(2)式	0.680	0.638	0.749	0.840

* 根据各灌区平均值计算。

上述问题。表 2 是根据 4 个灌区几十个测点获得的数据进行计算的结果。从表 2 可以看出, (1)式计算的数值显著地夸大了 As 和 Cr 的污染程度, 改变了污染程度的序列, 有的甚至增高三倍多。 (2)式计算的数值, 则显著改变了污染状况, 使大多数的 Cd 数值居于最高。 As 和 Cr 的数值也普遍提得较高, 有的也改变了相互间的排列顺序, 歪曲了实际的污染状况。

通过上述比较可以看出, 我们提出的分

表 3 以 (2) 式算出的 I_i 值用 (4) 式综合的 P 值

区号	项目	Hg	Cd	As	Cr
	标准	1.5	3.0	36.0	500.0
1	实际含量	0.550	0.069	8.53	80.7
	P 值	2.28	0.77	0.82	1.04
2	实际含量	1.553	0.554	8.94	96.6
	P 值	9.71	8.69	0.87	1.56
3	实际含量	1.004	0.320	8.60	63.2
	P 值	7.87	13.58	0.98	1.07
4	实际含量	0.304	0.122	9.21	58.1
	P 值	1.50	1.46	0.81	0.83
5	实际含量	0.359	0.155	7.86	63.5
	P 值	1.31	1.62	0.80	0.94
6	实际含量	0.238	0.069	8.40	63.1
	P 值	0.94	0.83	0.90	0.90

指数, 既保持了原公式 [(1) 式] 简单扼要, 综合概括的优点, 也克服了它在无量纲上的不纯性, 使之更为完善了。

在分指数的综合中, 近来, (4) 式曾得到较广泛的应用。这一综合指数多用于水体污染, 我国已有人进行过专门评论^[6]。这一方法在水质评价中具有一定的优点, 它充分照顾了最大值。但是, 在土壤环境质量评价中则主要慎重, 随意应用, 会造成一些错误的结论。

譬如用(2)式计算的 Cd、Hg、Cr、As 的指数用(4)式进行综合时(见表 3),本已夸大的 Cd 污染会再度被夸大,使本来并不严重的 Cd 污染变得较为严重,而较重的汞污染却变得较次要了。如以表 3 第 3 区为例,该区 Hg 的最大值和平均值分别为 3.775 ppm 和 1.004 ppm, Cd 的最大值和平均值分别为 2.050 ppm 和 0.320 ppm,无论从最高值或平均值而言, Hg 的污染程度都比 Cd 明显地高。但是, Cd 的 P 值却比 Hg 大,严重歪曲了污染的现实状况。此外,(4)式算出的综合指数的大小只反映污染的程度,而无质变之区别。因此在进一步进行污染程度的分级时,没有客观标准,受到工作人员的经验和知识水平等人为因素的影响较大。

在分指数的综合中,(3)式也曾得到较广泛的应用。但是(3)式具有一个缺点,在一定情况下,它会掩盖某些污染物质的飞跃特征。譬如当一种污染物含量超过标准,其它几种污染物的指数都很低时,算出的综合质量指数不仅小于 1,而且还相当低。在土壤重金属污染中,这种状况是不允许的。因为土壤重金属污染不像水体污染存在瞬时性一样,一旦被污染就不易自然消失。实际上,在

重金属污染中,当某种重金属的指数超过 1 时,这种土壤已被污染的量变过程发展到质的飞跃,构成需要采取严厉措施的程度。从这种意义上来说,这种质的飞跃特征,已代表了土壤的污染属性。如果我们用算出的较低的综合指数来表示它的质量,既不符合它的质变状况,也不能恰当的作为防治途径的依据。为此,我们把这种情况下的综合指数由小于 1 提高到 1。即当某点

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i$$

中某一污染物的 $I_i > 1$, $P < 1$ 时,令 $P=1$ 。至计算的 $P=1$ 后,再按(3)式进行综合。这样,我们提出的指数系统,既以无量纲的属性表示了污染的量变过程,也表达了污染的质变特征,弥补了(1)式和(2)式的不足。

参 考 文 献

- [1] 北京西郊环境质量评价协作组,北京西郊环境质量评价研究,13 页,1977 年。
- [2] 熊广政等,环境科学,6, 6(1979)。
- [3] 唐永奎,环境科学,2, 71(1979)。
- [4] 曹洪法等,环境科学 4, 32(1979)。
- [5] Nemerow, N. L., Scientific Stream Pollution Analysis, McGraw-Hill, New York, 1974。
- [6] 关伯仁,环境科学,4, 67(1979)。

(上接第 61 页)

统一起检查,相互补充,以免漏筛。

参 考 文 献

- [1] Kolata, G. B., *Science*, **192**, 1215 (1976)。
- [2] Ames, B. N. *et al.*, *Mutation Res.*, **31**, 547 (1975)。
- [3] 矢作多贵江,蛋白质、核酸、酵素, **20**, 1178(1975)
- [4] Frantz, C. N. *et al.*, *Mutation Res.*, **31**, 365 (1975)。
- [5] 张桥、李雅观,环境科学, **4**, 44(1978)
- [6] Куринный, А. П., *Цит. и Генет.*, **8**, 342 (1974)。
- [7] Shirasu, Y. *et al.*, *Mutation Res.*, **40**, 19 (1976)。
- [8] Poole, D. C. *et al.*, *Toxicol. Appl. Pharm.*, **41**, 196 (1977)。
- [9] Garere, A. *et al.*, *Mutation Res.*, **57**, 277(1978)。
- [10] Lorenzo, F. *et al.*, *Cancer Res.*, **38**, 13 (1978)。
- [11] 赵寿元等,自然杂志, **8**, 214 (1978)
- [12] Kramers, P. G. N. *et al.*, *Mutation Res.*, **57**, 103 (1978)。
- [13] Sobels, F. H. *et al.*, *ibid.*, **67**, 89 (1979)。
- [14] Flora, S. D. *et al.*, *Nature*, **271**, 455, (1978)。
- [15] MacCann, J. *et al.*, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **72**, 5138 (1975)。
- [16] MacCann, J. *et al.*, *ibid.*, **73**, 950 (1976)。
- [17] Purchase, I. H. *et al.*, *Nature*, **264**, 624 (1976)。
- [18] Bridges, B. A. *et al.*, *ibid.*, **262**, 195 (1976)
- [19] Brusick, D. J., *Clin. Toxicol.*, **10**, 79 (1977)。
- [20] Poirier, L. A. *et al.*, *ibid.*, **9**, 761 (1976)。
- [21] Ashby, J., *Nature*, **274**, 20 (1978)。
- [22] Zapp, J. A., *Amer. Indust. Hyg. Ass. J.*, **36**, 916 (1975)。
- [23] Lee, K. P. *et al.*, *Lab. Investig.*, **36**, 344 (1978)。
- [24] Ashby J. *et al.*, *Brit. J. Cancer*, **36**, 564 (1977)。