



土壤重金属环境质量标准的制定

熊 先 哲

(中国科学院林业土壤研究所)

一、制定土壤环境质量标准的目的

土壤质量标准是以土壤生态为中心,以维持其正常的结构和功能,发挥长期稳定的生产效能为目的。土壤是经历漫长地质年代形成的环境要素,是人类赖以生存的宝贵资源。然而土壤生态系统,遭到污染后,一旦超过系统本身的恢复能力,变会造成严重的后果。由于重金属污染,造成土壤生态的破坏并危及人体健康的实例,提醒我们对于进入土壤的污染物必须实行数量上的限制,而限制的衡量尺度,就是土壤质量标准。

国外从七十年代开始研究制定土壤卫生标准,并且有些国家陆续颁发了某些重金属的土壤质量标准。可是我国目前尚未制定污染物的土壤质量标准,重金属亦是如此。

土壤质量标准(standard)是以土壤质量基准(criteria)为依据,同时还综合考虑了社会、经济、技术等多种因素,通常标准要低于或等于基准。因此制定土壤质量标准,实际上也就是土壤质量基准的研究工作。

二、制定土壤环境质量标准的依据

1. 土壤卫生学指标

苏联 A. Ф. Перцовская^[1] 等人在论述制定土壤卫生标准时,考虑了土壤 20 多个生物活性和自净过程指标,其中主要有呼吸作用(CO_2)、蔗糖酶、蛋白酶、纤维素酶、硝化作用(氨、硝酸盐)、大肠杆菌、微生物区系(包括最敏感的类型、腐生细菌)等。在这些指标中,

固氮、酶活性和呼吸作用是最敏感的。当土壤中某些重金属含量超过背景值仅数个 ppm 时,就开始表现出抑制作用。土壤真菌对重金属污染也是高度敏感,其数量在污染土壤中剧增,而其他微生物种类的数量,则相应减少。

以上述指标确定土壤重金属的最大允许浓度(ПДК)的具体数量界限,苏联学者大体有三种意见,衡量标准有所不同^[1,2],即以生物化学指标出现的变化和微生物计数指标出现的变化,分别 $\geq 25\%$ 和 $\geq 50\%$ 为第一种意见,分别 $\geq 15\%$ 和 $\geq 30\%$ 为第二种意见,两者皆为 10—15% 为第三种意见。

固氮菌和固氮酶活性对土壤重金属的敏感性,还为下述试验所证明。意大利 S. Coppola^[3] 研究了性质不同的两种土壤 Terra Rossa 和 Volcanic soil (以下简称 T 和 V 土壤),在以 CdSO_4 处理后,研究对固氮菌和固氮酶活性的影响(表 1)。从中看出,2—4 ppm Cd 处理,已使固氮活性明显下降,同时固氮菌数量也相应减少。

苏联 M. M. Умаров^[4] 等也用乙炔法测定固氮活性,做为重金属污染的敏感指示,指出当土壤中 Cu 为 5 ppm, Zn 和 Ni 为 10 ppm 时,土壤固氮活性开始下降,而且这种抑制作用,在重金属输入后可持续 2—4 个月。

2. 农产品的质量指标

土壤污染物和人体健康之间的剂量-效应关系,不是直接的,而是通过农畜产量食物链紧密联系的。

表 1 Cd 处理对固氮菌和固氮活性的影响

土壤	Cd 处理 ppm	自生固氮菌 个/g 干土		非共生固氮 活 性	
		好气的	嫌气的	$g(N_2)/$ ha · d	降低%
T	0	1.63×10^2	4.89×10^2	4757	0
	2	1.02×10^2	3.23×10^2	2845	40.19
	4	1.03×10^2	1.63×10^2	2228	53.16
	8	9.73×10^1	1.04×10^2	736	84.53
	16	4.88×10^1	1.03×10^1	147	96.91
V	0	2.59×10^1	9.84×10^3	2710	0
	2	2.58×10^1	4.64×10^3	2566	5.31
	4	2.58×10^1	2.58×10^3	2075	23.43
	8	2.57×10^1	9.78×10^2	378	86.05
	16	2.59×10^1	2.59×10^2	367	86.46

很多国家制定工农产品的卫生标准,限制了污染物在粮食和食品中的允许含量。同时还规定了某些重金属的每人每周(或每日)允许摄入量(ADI)。例如联邦德国粮食卫生标准规定 Cr 为 0.4ppm、Pb 为 0.5ppm、Cd 为 0.2ppm。并且还规定 70kg 体重的人每周可摄入的重金属数量^[5], Pb 为 3.5mg, Cd 为 0.525mg, Hg 为 0.35mg。

根据粮食卫生标准,或者以 ADI 与食物构成情况推算的粮食中污染物的允许含量,做为因变量,以土壤中相应的污染物浓度为自变量,通过广泛的调查和深入的研究,取得足够多的样本,建立起两者之间的函数方程,结合其他有关的影响因素,构造数学模型,运用模型根据粮食的卫生标准,计算出土壤的允许含量。不过目前很多国家尚未严格遵循这一程序。

A. Klope^[5] 介绍了联邦德国 23 个危害元素的土壤允许浓度(表 2),就是为达到卫生部规定的食品卫生要求。

A. Klope 还建议农用土壤的允许数量标准还应该用于森林土壤。因为森林不仅是用材,而且也是可食植物(蘑菇、浆果等)和食用野禽的食源,特别是森林植物有相对较高的富集重金属等污染物的能力,出于对人体

表 2 联邦德国土壤中危害元素允许数量(ppm)

元素	土壤浓度 范围	允许数量	元素	土壤浓度 范围	允许数量
As	0.1—20	20	Ni	2—50	50*
B	5—20	25	Pb	0.1—20	100*
Be	0.1—5	10	Sb	0.01—0.5	5
Br	1—10	10	Se	0.01—5	10
Cd	0.01—1	3*	Sn	1—20	50
Co	1—10	50	Tl	0.01—0.5	1
Cr	2—50	100*	Ti	10—5000	5000
Cu	1—20	100*	U	0.01—1	5
F	50—200	200	V	10—100	50
Ga	0.1—10	10	Zn	3—50	300*
Hg	0.01—1	2*	Zr	1—300	300
Mo	0.2—5	5			

* 联邦政府公布的允许上限

健康的考虑,故对森林土壤的环境质量也不能忽视。

3. 作物效应指标

重金属对作物的危害,可分为两类,一类是造成残毒,另一类是生理毒害,有的元素是兼而有之。这里的作物效应是指对作物产生生理毒害,出现症状,最终表现为减产。对于某种重金属,不同作物的敏感程度不同。苏联 Л. А. Ерпоза^[6] 等提出利用作物叶片和果实中的化学组成来评价污染程度。利用作物的生理生化指标来制定土壤质量标准,具有从本质上和机理上阐明问题的特点,这是应该逐步做到的。但是目前的生物效应,仍然是采用生物量和产量这样的综合指标。

日本^[7]研究了砷污染地区的糙米产量(表 3)。根据表 3,计算出上述三个地区造成水稻减产 10% 的土壤砷浓度分别为: 15.12 ppm, 11.46 ppm, 17.81 ppm。日本规定的土

表 3 污染水田中土壤砷(x)和糙米产量(y)的关系

地 点	回归方程	相关系数 r
宫崎	$y = -2.91x + 440$	-0.96*
大田	$y = -3.84x + 440$	-0.78*
岛根	$y = -2.60x + 463$	-0.76*

* 差异在 1% 水平,产量: kg/0.1ha

壤质量标准,砷为 15ppm (1N HCl 提取);铜为 125ppm (0.1N HCl 提取)其依据就是作物效应。

4. 环境效应指标

土壤污染还可能导致边界环境的污染,其中主要是对地面水和地下水的污染。一般认为重金属和土壤胶体的亲合力较强,进入土壤的重金属多集中分布于表层。美国 K. W. Brown^[6] 利用渗滤装置 (Lysimeter) 研究 Cd、Cu、Ni 和 Zn 的运动规律,发现土壤投加重金属后,大多集中于表层,并随着深度增加而急剧减少,25cm 以下的影响极不显著,甚至很少受到土壤粘土和阳离子交换容量的影响。

但是意大利 E. Sabbioni 认为由于磷肥的大量施用,可能会影响到地下水的质,有造成 Cd、Se、Mo、U 污染地下水的潜在危险,并且研究建立了数学模型,认为根据欧洲的参数预测 Cd 的迁移,36 年后可能引起地下水 Cd 含量超标,因此必须限制 Cd 的输入量。

虽然对于重金属在土壤剖面中的纵向迁移有不尽相同的研究结果,但是防止重金属从土壤导致地下水和地面水的污染,也是制定土壤质量标准的重要指标,这一方面的研究,涉及到区域环境、地质结构、土壤性质、气候条件等各种因素,同时土壤-水体系 (特别是地下水) 的剂量-效应属于长期效应,因此需要较长时间的定点研究,才能有足够的根据,做出结论。

三、制定土壤环境质量标准的任务

为了尽早填补我国土壤环境质量的空白,首先应该选定危害严重、不易降解、数量较大的污染物做为研究对象,其中应该包括毒性较大的重金属,如 Hg、Cd、Cu、Zn、Ni、As、Pb、Cr 等。对制定标准的依据、程序提出以下建议。

1. 多学科综合指标

有些国家^[9] 颁发的土壤中重金属的最大负荷,是以非污染土壤的平均含量为基数,然后乘以若干倍,成为推荐的最大负荷。例如对 Cd、Ni 和 Mo 严加控制,倍数为 1; Zn、Cu、Pb, 倍数是 3; 而 Cr 倍数是 7。

我们认为制定标准,应该进行多学科的土地质量基准研究,如表 4 所示。其中卫生基准以粮食卫生标准为依据,经过调查和研究,要查明在田间条件下,土壤和粮食中某种重金属的剂量-效应关系,并且结合土壤生态及其边界环境特征参数,构造数学模型,用以确定土壤的卫生基准。

对于环境基准,特别是属于长期效应的,应该进行系统的长期研究。但是土壤环境质量标准并不是一成不变的,是当时学科水平的反映,随着研究的深入,还可不断修正。因此长效研究,既为制定标准,更多的是为检验标准。

表 4 土壤质量基准研究内容

研究对象	人	土壤微生物 酶、动物等	土壤边界环境 (水、大气)	农作物
研究学科	环境医学	环境生物学	污染生态学	环境 经济学
剂量-效应 类别	人体健康 效应	生物效应	次生污染效应	经济效益
基准类别	卫生基准	生物基准	环境基准	环境经 济基准

2. 各项基准的数量界限

卫生基准以国家颁发的粮食卫生标准为数量界限,环境基准也以国家制定的水体和大气相应重金属的质量标准为数量界限。

生物基准,苏联已往提出三个级别的数量界限^[1,2],可供参考和选择。有关农作物的环境经济基准,目前多以减产 10% 为数量界限。

数量界限的选择决定土壤质量基准的高低,也影响各项基准中限制性因素的确定,因此非常重要。笔者认为数量界限,应以保持土壤生态系统的正常结构和良好功能为条件,发展的趋势,将是日益严格。(下接第 95 页)

实际情况来定。在广场上可设置一定体量的建筑小品使之形成良好的空间效果。

我们在高层建筑的总体设计时, 还要注意到每幢高层在阳光照射下都有阴影部分。一般可在阴影部分的地段上安排一些附属建筑或其它次要建筑, 如停车场、汽车库等。另外, 假如在名胜古迹周围修建高层建筑, 要注意保护该地区原有历史、文化环境特点, 其高层建筑的高度要严格控制。在传统材料和新材料之间, 在色彩和质感之间可进行综合协调。如在高层建筑外墙上采用镜面玻璃把附近的传统历史建筑反射在镜面之中, 使得新、旧建筑较好地协调起来。高层建筑的体型还可采用与传统建筑相同的体型, 以取得新、旧建筑的协调、统一。

五、高层建筑的绿化设计

人离开了树木就如生活在沙漠之中。绿化不但能使空气新鲜, 色彩丰富, 而且还能协调人与建筑的关系。人是活的, 建筑物的表面材料如水泥、石头、砖头、木材、塑料、金属、玻璃等都是死的物体。而绿化是具有生命力的植物, 它可以在人与物之间起到某种过渡作用, 使人感到周围环境并不是死气沉沉, 而是充满生机。那么, 如何搞好高层建筑的环境绿化呢? 我们可在设计中采用以下几种方法: (1) 空中花园——空中花园一般指高层台阶式绿化。每层都有室外平面绿化、庭园绿化和垂直绿化, 远看犹如一个绿色的山坡。这样既可改变高层建筑的室外环境又可为该地区的周围环境增添景色, 改善局部气候, 美化城市。(2) 高层中庭室内绿化——主要在高层建筑的室内形成一个室内大花园, 可丰富室内环境, 改善室内局部气候、色彩。一般可用紫藤、爬山虎之类绿化, 也可把绿化水池和其它小品密切结合。(3) 分层式绿化——在高层建筑中用水平绿化把其划分成几个区域, 在每个区域中, 可用假山、树木等丰富

室内外环境。每个区域可相对作为几层楼面上人们的室内外活动场所。这样, 不但可增加高层建筑的室外活动场所又可丰富高层建筑的立面造型。另外, 在高层建筑周围布置绿化, 应尽量选用较大体型的乔木或其它树木以及雕塑等一定体量的建筑小品。

六、未来高层建筑的环境设想

未来高层建筑的室内外环境要与自然密切结合, 自然通风, 采光以及绿化、水池、假山等都应得到综合利用。室内外环境可以相互渗透。在风景优美的山区, 高层建筑可与山地密切结合, 利用山地坚硬的岩石作为高层建筑的天然地基; 在辽阔的海边, 高层建筑也可与海洋有机结合, 利用海水形成天然水池或天然瀑布, 还可把高层建筑的局部设在水面以下, 作为观察海洋动物的水晶宫。未来高层建筑已不单是解决城市用房紧张的唯一途径。随着科学技术的日益发展, 人民生活水平的逐步提高, 未来高层建筑将是一个综合性的小城市, 人们的一切需要都可在这里得到合理的解决, 如工作、学习、居住、看戏以及各种体育活动等等。高层建筑还可以与道路、桥梁紧密结合。在高层建筑中建造地下汽车库、电影院、仓库等; 在地面以上建造商店、旅馆、学校、体育馆、医院等各种建筑物。火车、汽车可在高层建筑中行驶; 飞机、空中客车可在高层建筑的屋顶停靠、降落。高层建筑将给人们带来诸多的方便和无穷的乐趣。

目前, 高层建筑在国内还是起步阶段, 但高层建筑的环境问题是值得我们研究, 改进的。只要我们对它认真对待, 加以重视, 高层建筑将会受到人们普遍地欢迎。

未来高层建筑的前景是广阔的。

(上接第88页)

最近几年, 我国比较系统地进行土壤环境容量的研究, 其中包括大量的重金属土壤质量基准工作, 为我国政府标准化部门提供了丰富的资料, 对于尽早制定我国的土壤环境质量标准, 起到了积极推动作用。

参 考 文 献

- [1] Перцовская, А. ф. и др., *Химия в С. Х.*, (3), 12(1982).
- [2] Ильин, В. Б., *Химия в С. Х.*, (3), 5(1982).
- [3] Coppola, S. in Davis R. D et al. (eds) *Environ.*

Eff. Org. Inog. Contam. Sewage Sludge, D. Reidel Publishing Company pp. 233—243, 1983.

- [4] Умаров, М. М. и др. *Гигиена и Санитария*, (2), 53(1981).
- [5] Klocke, A. in Davis, R. D. et al. (eds) *Environ. Eff. Org. Inog. Contam. Sewage Sludge*, D. Reidel Publishing Company, pp. 177—185, 1983.
- [6] Егорова, Л. А., *Химия в С. Х.*, (4), 47(1982).
- [7] Kakuzo Kitagishi et al., *Heavy Metal Pollution in Soil of Japan*. Japan Scientific Societies Press, 1981.
- [8] Brown, K. W. et al., *Water Air Soil Pollution*, 19 (1), 43 (1983).
- [9] Webber, M. D. et al., *J. W. P. C. F.*, 55(2), 187 (1983).