

污染土壤修复基准与标准进展及我国农业环保问题

周启星^{1,2}

(1.南开大学环境科学与工程学院, 环境污染过程与基准教育部重点实验室, 天津 300071; 2.中国科学院沈阳应用生态研究所, 中国科学院陆地生态过程重点实验室, 沈阳 110016)

摘要:污染土壤修复基准的研究和相关标准的制定,对于耕地的保护和环境标准的国际接轨具有极其重要的意义。本文从阐述污染土壤修复基准的概念出发,对污染土壤修复基准的国内外研究进展进行了概述;与此同时,还对国际上污染土壤修复/清洁标准的现状进行了分析。最后,从我国农业环保存在的问题出发,对污染土壤修复基准这一重大研究课题进行了展望和呼吁。

关键词:环境基准;修复基准;修复/清洁标准;污染土壤;农业环保;食品安全

中图分类号:X-651 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)01-0001-08

Progresses in Remediation Criteria and Standards for Contaminated Soils and Agro-Environmental Protection in China: A Review

ZHOU Qi-xing^{1,2}

(1.Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria at Ministry of Education, College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2.Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract: Research on remediation criteria/benchmarks for contaminated soils and enactment of relevant standards are of great importance in the protection of farmlands and international coincidence of environmental standards. In this review, the conception of contaminated soil remediation criteria/benchmarks was firstly expounded, and researching progresses in contaminated soil remediation criteria/benchmarks at home and abroad were summarized. In the meantime, international current situation of remediation/cleanup standards for contaminated soils was analyzed. In the end, remediation criteria/benchmarks for contaminated soils as a momentous researching problem to be solved in the field of agro-environmental protection was prospected and appealed.

Keywords: environmental criteria; remediation criteria; remediation/cleanup standard; contaminated soil; agro-environmental protection; food safety

污染土壤修复基准是一个与土壤环境质量基准相对应但又有本质区别的重要概念,是环境基准^[1]的重要组成部分,是制定污染土壤修复标准的基础数据和科学依据。污染土壤修复标准制定的目的,是保证污染土地再用目的的前提下,使受到较为严重污染土壤环境中的污染物,降低或削减到不足以导致较大的或人们不可接受的生态损害和健康危害两方面的风

险。因此,污染土壤修复标准的制定,对于应急土壤环境事故的处理具有法规准则方面十分重要的指导作用,特别在正确处理我国土壤和农业环境保护工作中存在的“欠保护”和“过保护”这一对矛盾具有极其重要的实践意义。在国内方面,污染土壤修复标准的最大作用是用以判断农业土地特别是耕地土壤是否可以改作工业用地、建设用地或者其他用地的法律依据,是耕地土壤保护的科学准则。在国际方面,污染土壤修复标准的制定和颁布,有利于我国在环境法规与标准方面与国际接轨,有利于我国在政治、经济、外交和环境等方面与国际对话,从而在国际环境政治中发挥积极作用和重要影响^[2]。

1 污染土壤修复基准的概念和研究进展

作为环境科学的重要概念,污染土壤修复基准是

收稿日期:2009-11-19

基金项目:国家自然科学基金项目(20777040);高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(707011)

作者简介:周启星(1963—),男,博士,教授,博士生导师,长江学者特聘教授,国家杰出青年科学基金获得者。现任南开大学环境科学与工程学院院长、中国科学院陆地生态过程重点实验室主任,主要从事污染生态、环境基准和污染环境修复等方面的研究。E-mail: Zhouqx@nankai.edu.cn

表示土壤环境受到一定程度的污染后其生态系统结构和功能是否可以自行恢复的临界水平,它反映了急性污染或较为严重污染暴露条件下土壤生态系统中在种群或群落水平上 50%~70%的生物种或个数能够得到保护或者免受污染危害的土壤环境中污染物的最高水平。因此,急性生态毒性试验、亚急性生态毒性试验以及群落/种群半致死剂量的确定,对于污染土壤修复基准限值的确定,具有十分重要的作用和直接的关系^[3]。

西班牙学者 Fernández 等(2006)把环境基准(Environmental criteria)大体上分成 3 个等级^[4]:(1)屏蔽值(Screening values),表示能引起潜在生态功能失调时土壤污染物的浓度水平;(2)清洁目标(Clean-up targets),表示修复过程中有待达成的目标,有时相当于屏蔽值,相应的修复标准一般是在修复所需的费用和生态效益之间进行平衡后所做出的决策;(3)应急值(Intervention values),表示立即需要采取清洁和控制措施的严重污染指示浓度。从其划分的这 3 个等级来看,污染土壤修复基准值应当处于屏蔽值和应急值之间,有时也相当于屏蔽值。这是有关污染土壤修复基准值研究的另一种提法。

当前,美国、丹麦、西班牙、瑞典、加拿大、瑞士和荷兰等发达国家均从国家层面系统开展了污染土壤修复基准的研究^[4-8]。特别是美国,有关这方面的研究是至今为止世界上前所未有的,其参数不仅包括重金属、无机物、石油烃、多环芳烃(PAHs)、多氯联苯(PCBs)等氯烃类、杀虫剂、除草剂和杀真菌剂等,甚至还涉及了二噁英以及 PPCPs、PBDEs 等一些新型有机污染物。随着研究工作的深入和发展,美国、荷兰、丹麦和瑞士等国家,先后颁(发)布了很多有害化学品的污染土壤修复基准值的资料 and 文件,显示了他们在环境科学研究中的领先地位。例如,荷兰最近也从国家层面上提出了污染土壤修复基准(Remediation criteria)的建议(表 1),简称“荷兰清单(Dutch List)”^[9],其中的污染物分成金属、无机物、芳族化合物、PAHs、氯烃、农药和其他污染物等 7 大类。在荷兰清单中,它把这个基准分成 3 个等级,其中 A 意指未污染水平, B 意指目前污染及需进一步调查的水平, C 意指显著污染及所需清洁的水平;并指出:这些数值并非标准,而是评价污染土地程度时的指导值,即基准值。

在我国,直至目前只有我们(周启星及其课题组,下同,本刊编辑注)开展了污染土壤修复基准的研究。其中,最早的工作,可以追溯到 2003 年我们发表在

表 1 荷兰污染土地修复基准

Table 1 Soil remediation criteria used in The Netherlands for contaminated land(“Dutch List”)

污染种类	污染物	A	B	C
金属	Cr	100	250	800
	Co	20	50	300
	Ni	50	100	500
	Cu	50	100	500
	Zn	200	500	3 000
	As	20	30	50
	Mo	10	40	200
	Cd	1	5	20
	Sn	20	50	300
	Ba	200	400	2 000
	Hg	0.5	2	10
	Pb	50	150	600
无机物	F(总)	200	400	2 000
	CN(总游离)	1	10	100
	CN(总化合物)	5	50	500
	S(总)	2	20	200
	Br(总)	20	50	300
芳族化合物	苯	0.01	0.5	5
	乙苯	0.05	5	50
	甲苯	0.05	3	30
	二甲苯	0.05	5	50
	酚	0.02	1	10
	总芳烃	0.1	7	70
	萘	0.1	5	50
PAHs	蒽	0.1	10	100
	菲	0.1	10	100
	荧蒽	0.1	10	100
	芘	0.1	10	100
	1,2-苯并芘	0.05	1	10
	ΣPAH	1	20	200
氯烃类	脂肪族化合物(单一)	0.1	5	50
	脂肪族化合物(总)	0.1	7	70
	氯苯类(单一)	0.05	1	10
	氯苯类(总)	0.05	2	20
	氯酚(单一)	0.01	0.5	5
	氯酚(总)	0.01	1	10
	含氯 PAHs(总)	0.05	1	10
	PCBs(总)	0.05	1	10
	可浸提有机氯 EOCL(总)	0.1	8	80
	含氯农药(单一)	0.1	0.5	5
农药	含氯农药(总)	0.1	1	10
	农药	0.1	2	20
其他	四氢呋喃	0.1	4	40
	噻啉	0.1	2	20
	四氢噻吩	0.1	5	50
	环己烷	0.1	6	60
	苯乙烯	0.1	5	50
	汽油	20	100	800
	矿物油	100	1 000	5 000

《Geoderma》的题为“Potential pollution and recommended critical levels of phosphorus in paddy soils of the southern Lake Tai area, China”的一篇论文^[10]。在这一研究中,率先推导、提出了我国土壤(以南太湖水稻土为准)磷的修复基准值的建议。2003 年,在香山科学会议上,我们又正式提出了关于系统开展污染土壤修复基准研究的建议^[11]。2004 年,启动了《污染土壤修复基准建立的方法体系、案例研究与评价》的博士论文^[12]。在这一工作中,以污染物铅和乙草胺为例,通过 3 年较为系统的研究,取得了一定的研究进展。其中,通过基于农作物发芽毒理的土壤修复基准研究,以 ID₁₀ 作为评定作物生长受到影响的阈值,以小麦作为生态受体和评定植物,则通过发芽实验确定棕壤中铅污染土壤的修复阈值为 443 mg·kg⁻¹;通过基于农作物吸收毒理的污染土壤修复基准研究,以小麦籽实生物量降低 10% 为依据,则棕壤铅的修复基准为 292 mg·kg⁻¹;基于土壤酶学的毒理学实验,以土壤磷酸酶或脲酶抑制率降低 10% 为依据,确定棕壤中乙草胺的土壤修复基准为 4.0 mg·kg⁻¹。此外,还分别开展了基于农作物吸收毒理的土壤修复基准研究、基于土壤动物毒理的土壤修复基准研究、基于土壤化学迁移特性的土壤修复基准研究和基于生化水平毒理效应的土壤修复基准研究。

至今,我国对污染土壤修复基准了解不多,在概念上常常与土壤环境基准、土壤环境质量基准和污染土壤修复相混淆。这不仅说明我国在这一方向上的研究极为缺乏,而且启示我们今后需要开展这方面大量的和系统的研究。

2 污染土壤修复/清洁标准的进展

污染土壤修复/清洁标准是指被技术和法规所确立、确认的土壤清洁水平,系通过土壤修复过程、各种清洁技术手段使土壤环境中污染物的浓度削减、降低到对人体健康和生态系统不构成威胁的技术和法规可接受水平^[13]。

美国是所有拥有污染土壤修复/清洁标准的国家中,最早颁布并实施污染土壤修复/清洁标准的国家,甚至各州都建立了较为完善的污染土壤修复/清洁标准。例如,美国纽约州早在 1998 年就制定并颁布了烃污染土壤清洁标准^[14]。在这一标准中,首先根据产品进行分类,分成汽油、柴油和废油 3 个部分;再根据这 3 类产品,来确定控制的污染物(参数或组分),其中汽油所控制的污染物有 BTEX(苯、甲苯、乙苯和二甲苯)和甲基叔丁基醚(MTBE),柴油中所控制的污染物有萘、蒽、芴和芘,废油中主要涉及 PCBs 和卤化有机污染物的控制;在制定的标准值中,又分成检出水平(Detection level)、通知水平(Notification level)、行动水平(Action level)和清洁水平(Cleanup level)(表 2)。在这基础上,美国纽约州于 2003 年又进一步制定并颁布了烃污染土壤原位清洁标准^[15],其中在行动水平污染物的限值方面有较大放宽(表 3)。美国佛罗里达州对烃污染土壤清洁标准做了更为细致的规定,其污染物参数不仅包括 PAHs(萘、蒽、芘、苯、菲和芴等)、BTEX 和 MTBE 等有机污染物,还包括若干重金属(如 As、Cd、Cr 和 Pb 等)(表 4)。美国新泽西州制定了更为完善的污染土壤清洁标准^[16],其污染物参数涉及

表 2 美国纽约州烃污染土壤清洁标准(μg·kg⁻¹)

Table 2 New York cleanup standards for hydrocarbon contaminated soil(μg·kg⁻¹)

产品	参数/组分	实验室试验条款与号码	检出水平	通知水平	行动水平 *	清洁水平
汽油	苯	EPA 8021 或 8020	2	任何数量	14	特定点
	乙苯	EPA 8021 或 8020	2	任何数量	100	特定点
	甲苯	EPA 8021 或 8020	2	任何数量	100	特定点
	二甲苯	EPA 8021 或 8020	2	任何数量	100	特定点
	MTBE	EPA 8021 或 8020	1	任何数量	1 000	特定点
柴油	萘	EPA 8021	1	任何数量	200	特定点
	蒽	EPA 8270	330	任何数量	1 000	特定点
	芴	EPA 8270	330	任何数量	1 000	特定点
	芘	EPA 8270	330	任何数量	1 000	特定点
废油	PCBs	EPA 8270	特定化合物	特定化合物	特定化合物	特定化合物
	卤化有机物	EPA 8021	特定化合物	特定化合物	特定化合物	特定化合物

注:* 该水平以土壤中的最高浓度为依据,如果采用毒性浸出方法(TCLP),则并不超出行动值的总体水平。

表 3 美国纽约州烃污染土壤原位清洁标准($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 3 New York cleanup standards for hydrocarbon contaminated soil in situ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

产品	参数/组分	实验室试验条款与号码	检出水平	通知水平	行动水平 **	清洁水平
汽油	苯	EPA 8021 或 8020	2	任何数量	60	特定点
	乙苯	EPA 8021 或 8020	2	任何数量	5 500	特定点
	甲苯	EPA 8021 或 8020	2	任何数量	1 500	特定点
	二甲苯	EPA 8021 或 8020	2	任何数量	1 200	特定点
	MTBE	EPA 8021 或 8020	1	任何数量	120	特定点
柴油	萘	EPA 8021	1	任何数量	13 000	特定点
	蒽	EPA 8270	330	任何数量	50 000	特定点
	芴	EPA 8270	330	任何数量	50 000	特定点
	芘	EPA 8270	330	任何数量	50 000	特定点
废油	PCBs	EPA 8270	特定化合物	特定化合物	特定化合物	特定化合物
	卤化有机物	EPA 8021	特定化合物	特定化合物	特定化合物	特定化合物

表 4 美国佛罗里达州烃污染土壤清洁标准($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 4 Florida cleanup standards for hydrocarbon contaminated soil($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

参数/组分	实验室试验条款与号码	直接暴露, 居住区	基于地下水基准的可渗性
萘	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	1 900	2.1
萘烯	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	1 100	27
蒽	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	18 000	2 500
苯并(a)蒽	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	1.4	3.2
苯并(a)芘	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	0.1	8
苯并(b)荧蒽	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	1.4	10
苯并(g,h,i)二苯并(a,h)蒽	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	2 300	32 000
苯并(k)荧蒽	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	15	25
蒎	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	140	77
二苯并(a,h)蒽	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	0.1	30
荧蒽	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	2 900	1 200
芴	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	2 200	160
茚并(1,2,3-c,d)芘	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	1.5	28
萘	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	40	1.7
1-甲基萘	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	68	2.2
2-甲基萘	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	80	6.1
菲	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	2 000	250
芘	EPA 8100, 8250, 8270 或 8310	2 200	880
苯	EPA 8021, 8260	1.1	0.007
乙苯	EPA 8021, 8260	1 100	0.6
甲苯	EPA 8021, 8260	380	0.5
总二甲苯	EPA 8021, 8260	5 900	0.2
MTBE	EPA 8021, 8260	3 200	0.2
TRPHs	FL-PRO	340	340
As	EPA 200.7, 206.2, 206.3, 6010, 7060 或 7061	0.8	29
Cd	EPA 200.7, 213.1, 213.2, 6010, 7130 或 7131	75	8
Cr	EPA 200.7, 218.2, 6010 或 7191	210	38
Pb	EPA 200.7, 200.8, 239.2, 6010 或 7421	400	*
TRPHs	FL-PRO	340	340

注: 检出限应该满足规定的清洁目标水平, 可渗性值应该采用 TCLP 来测定。

PAHs、杀虫剂、氰化物、酞酸酯和重金属(Pb、Hg、Cd 和 Cr 等)(表 5)。其中,居住区土壤清洁标准和非居住区土壤清洁标准,主要考虑直接接触,除了特别标注外,均是根据随机摄取暴露途径的健康水平制定的

标准;影响地下水的土壤清洁标准主要根据污染场地的具体因素确定标准,这些具体因素包括含水等级、土壤类别、自然背景值和环境的影响等。此外,总二甲苯影响地下水的土壤清洁标准则是根据新的饮用水

表 5 新泽西州土壤清洁标准($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 5 New Jersey soil cleanup criteria($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

污染物	居住区土壤 清洁标准, 直接接触	非居住区土 壤清洁标准, 直接接触	影响地下 水的土壤 清洁标准	污染物	居住区土壤 清洁标准, 直接接触	非居住区土 壤清洁标准, 直接接触	影响地下 水的土壤 清洁标准
萘	3 400	10 000 (a)	100	狄氏剂	0.042	0.18	50
丙酮(2-丙酮)	1 000 (b)	1 000 (b)	100	二乙基酞酸酯	10 000 (a)	10 000 (a)	50
丙烯腈	1	5	1	2,4 二甲基苯酚	1 100	10 000 (a)	10
艾氏剂	0.040	0.17	50	二甲基酞酸酯	10 000 (a)	10 000 (a)	50
蒽	10 000 (a)	10 000 (a)	100	2,4 二硝基酚	110	2 100	10
Sb	14	340	(f)	二硝基甲苯	1 (j)	4 (j)	10 (j)
As	20 (a)	20 (a)	(f)	硫丹	340	6 200	50
Ba	700	47 000 (l)	(f)	异狄氏剂	17	310	50
苯	3	13	1	乙苯	1 000 (b)	1 000 (b)	100
苯并[b]蒽	0.9	4	50	蒽	2 300	10 000 (a)	100
苯并[a]蒽	0.9	4	500	芴	2 300	10 000 (a)	100
苯并[a]芘	0.66 (d)	0.66 (d)	100	七氯	0.15	0.65	50
苯并[k] 蒽	0.9	4	500	六氯苯	0.66 (d)	2	100
苯基乙醇	10 000 (a)	10 000 (a)	50	六氯丁二稀	1	21	100
Be	[1(d)] 2 (c)	[1(d)] 2 (c)	(f)	六氯戊稀	400	7 300	100
双对(氯乙基)醚	0.66 (d)	3	10	六氯乙烷	6	100	100
双对(氯代异丙)醚	2 300	10 000 (a)	10	茚并芘	0.9	4	500
双对(2-乙基己基)酞酸酯	49	210	100	异佛乐酮	1 100	10 000 (a)	50
二氯溴甲烷	11	46	1	Pb	400 (n)	600 (o)	(f)
溴仿	86	370	1	林丹	0.52	2.2	50
溴化甲烷(甲基溴化物)	79	1 000 (b)	1	2 甲基苯酚	2 800	10 000 (a)	(p)
2-丁酮(MEK)	1 000 (b)	1 000 (b)	50	4 甲基苯酚	2 800	10 000 (a)	(p)
丁基苯基酞酸酯	1 100	10 000 (a)	100	甲氧氯	280	5200	50
Cd	39	100	(f)	Hg	14	270	(f)
四氯化碳	2 (i)	4 (i)	1	4 甲基 2 戊酮	1 000 (b)	1 000 (b)	50
4-氯苯胺	230	4 200	(p)	二氯甲	49	210	1
氯苯	37	680	1	萘	230	4200	100
氯仿	19 (i)	28 (i)	1	Ni	250	2 400 (i, l)	(f)
4-氯-3-甲基苯酚	10 000 (a)	10 000 (a)	100	硝基苯	28	520	10
氯甲烷	520	1 000 (b)	10	N 亚硝基二苯胺	140	600	100
2-氯酚	280	5 200	10	N 亚硝基 n 丙醇盐	0.66 (d)	0.66 (d)	10
Cr ⁶⁺	240;270 (e, g)	6 100; 20 (e, g)	(f)	多氯联苯	0.49	2	50
Cr ³⁺	120 000	(h)	(j)	五氯苯酚	6	24	100
蒯	9	40	500	苯酚	10 000 (a)	10 000 (a)	50
Cu	600 (i)	600 (i)	(f)	芘	1 700	10 000 (a)	100
氰化物	1 100	21 000 (m)	(f)	Se	63	3 100 (l)	(f)
4,4'-DDD	3	12	50	Ag	110	4 100 (l)	(f)
4,4'-DDE	2	9	50	苯乙烯	23	97	100

续表 5

污染物	居住区土壤 清洁标准, 直接接触	非居住区土 壤清洁标准, 直接接触	影响地下 水的土壤 清洁标准	污染物	居住区土壤 清洁标准, 直接接触	非居住区土 壤清洁标准, 直接接触	影响地下 水的土壤 清洁标准
4,4'-DDT	2	9	500	1,1,1,2 四氯乙烷	170	310	1
二苯并[a,h]蒽	0.66 (d)	0.66 (d)	100	1,1,2,2 四氯乙烷	34	70 (i)	1
二溴氯甲烷	110	1 000 (b)	1	全氯乙烯	4 (k)	6 (i)	1
二丁基酞酸酯	5 700	10 000 (a)	100	Tl	2 (d)	2 (b)	(f)
二辛基酞酸酯	1 100	10 000 (a)	100	甲苯	1 000 (b)	1 000 (b)	500
1,2 二氯代苯	5 100	10 000 (a)	50	毒杀芬	0.10 (i)	0.2 (i)	50
1,3 二氯代苯	5 100	10 000 (a)	100	1,2,4 三氯芬	68	1 200	100
1,4 二氯代苯	570	10 000 (a)	100	1,1,1 三氯乙烷	210	1 000 (b)	50
3,3 二氯代对二氨基联苯	2	6	100	1,1,2 三氯乙烷	22	420	1
1,1 二氯乙烷	570	1 000 (b)	10	三氯乙烯	23	54 (i)	1
1,2 二氯乙烷	6	24	1	2,4,5 三氯酚	5 600	10 000 (a)	50
1,1 二氯乙烯	8	150	10	2,4,6 三氯酚	62	270	10
反式-1,2 二氯乙烯	1 000 (b)	1 000 (b)	50	V	370	7 100 (l)	(f)
顺式-1,2 二氯乙烯	79	1 000 (b)	1	乙烯基氯化物	2	7	10
2,4 二氯苯酚	170	3 100	10	总二甲苯	410	1 000 (b)	67 (o)
1,2 二氯丙烷	10	43	(p)	Zn	1 500 (k)	1 500 (k)	(f)
1,3 二氯丙烯	4	5 (g)	1				

注:(a)总有机污染物的最大浓度超过 $10\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; (b)总挥发有机污染物的浓度超过 $10\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; (c)根据自然背景值制定的清洁标准; (d)健康标准低于分析检测极限,清洁标准根据实际检测水平而定; (e)根据吸入暴露途径制定的标准; (f)根据该地点特定的化学和物理参数对地下水无机组分影响确定标准; (g)根据皮肤接触过敏的暴露途径对地点特别要求制定的标准; (h)在这种暴露途径下污染物不受控制; (i)根据吸入暴露途径制定的标准,这个标准比随机摄取暴露途径的标准要严格; (j)对这种污染物没有制定标准; (k)标准根据生态效应(植物毒性)制定; (l)以人类健康水平为基础的标准是用该地点的基本要素评价潜在的环境影响; (m)标准水平是用来评价急性暴露危险的; (n)根据美国环保局综合暴露生物动力学模型制定的标准,浓度是考虑到保护 95% 的目标人群(儿童)的血铅浓度不超过 $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$; (o)标准由环境地球化学与健康学会(SEGH)开发的模型推算而来,主要设计用来保护成人在工作场所的健康; (p)利用不充足信息来计算的地下水标准。

标准制定的。

在系统开展污染土壤修复基准研究的基础上,加拿大早在 1991 年就制定并颁布了土壤临时修复标准,对土壤中存在各种污染物作了较为详细的限制(表 6)。其参数之多,也并不逊色美国。从涉及的污染物大类来说,包括一般性参数(电导率、pH 和钠吸附比)、无机参数(锑、铍、热水可溶性硼、钴、总氟、铝、银、元素 S 和锡)、单环烃(氯苯、1,2-二氯苯、1,3-二氯苯、1,4-二氯苯和苯乙烯)、酚类化合物(氯酚类和不含氯酚类化合物)、PAHs[苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、二苯并(a,h)蒽、茚并(1,2,3-c,d)芘、菲和芘]、氯代烃类(氯代脂肪族化合物、氯苯类、六氯苯和六六六)和其他各种有机污染物(非氯代脂肪族化合物、邻苯二甲酸酯、喹啉和噻吩)等 7 大类。其中,氯酚类又包括氯酚异构体(正、间位、对位)、二氯酚(2,6-、2,5-、2,4-、3,5-、2,3-、3,4-)、三氯酚(2,4,6-、2,3,6-、2,4,5-、2,3,4-、3,4,5-)和四氯酚(2,3,5,6-、

2,3,4,5-、2,3,4,6-),不含氯酚类化合物则包括 2,4-二甲酚、2,4-二硝基酚、2-甲基 4,6-二硝基酚、硝基酚(2-,4-)、酚和甲酚,氯代脂肪族化合物(或称脂肪族氯代烃)则有氯仿、二氯甲烷(1,1-、1,2-)、二氯乙烯(1,1-、1,2-)、二氯甲烷、1,2-二氯丙烷、1,2-二氯丙稀(顺式和反式)、1,1,2,2-四氯乙烷、四氯乙烯、四氯化碳、三氯甲烷(1,1,1-、1,1,2-)和三氯乙烯,氯苯类则涉及所有三氯苯异构体、所有四氯苯异构体和五氯苯。而各参数的限值则根据土地利用类型不同有较大变异,一般对农业用地控制较严,商业和工业用地相对较宽,居住和公园居于中间。从这些制定的污染土壤修复标准来看,反映了加拿大对土壤环境保护的高度重视。

在欧洲一些国家,也出于对土壤环境的保护和污染土壤的治理与修复的目的,制定了一系列污染土壤的修复标准。例如,丹麦是欧洲制定污染土壤修复标准比较早的国家,分别对土壤中砷、镉、铬和汞等重金

表 6 加拿大土壤临时修复标准(mg·kg⁻¹)

Table 6 Interim remediation criteria for soil in Canada(mg·kg⁻¹)

类型	参数	土地利用			
		农业	居住/公园	商业	工业
一般性参数	电导率 [dS·m ⁻¹]	2	2	4	4
	pH	6~8	6~8	6~8	6~8
无机参数	钠吸附比	5	5	12	12
	Sb	20	20	40	40
	Be	4	4	8	8
	硼(热水可溶性)	2	—	—	—
	Co	40	50	300	300
	F(总)	200	400	2 000	2 000
	Mo	5	10	40	40
	Ag	20	20	40	40
	S(元素)	500	—	—	—
	Sn	5	50	300	300
单环烃	氯苯	0.1	1	10	10
	1,2-二氯苯	0.1	1	10	10
	1,3-二氯苯	0.1	1	10	10
	1,4-二氯苯	0.1	1	10	10
	苯乙烯	0.1	5	50	50
酚类化合物	氯酚类(单一)	0.05	0.5	5	5
	不含氯酚类化合物(单一)	0.1	1	10	10
PAHs	苯并(a)蒽	0.1	1	10	10
	苯并(b)荧蒽	0.1	1	10	10
	苯并(k)荧蒽	0.1	1	10	10
	二苯并(a,h)蒽	0.1	1	10	10
	茚并(1,2,3-c,d)芘	0.1	1	10	10
	菲	0.1	5	50	50
	芘	0.1	10	100	100
	氯代脂肪族化合物(单一)	0.1	5	50	50
氯代烃类	氯苯类(单一)	0.05	2	10	10
	六氯苯	0.05	2	10	10
	六六六	0.01	—	—	—
	非氯代脂肪族化合物(单一)	0.3	—	—	—
其他各种有机参数	邻苯二甲酸酯	30	—	—	—
	喹啉	0.1	—	—	—
	噻吩	0.1	—	—	—

属以及 PAH 提出了必要的污染消减标准(表 7)^[17]。

3 我国的农业环保问题

污染土壤修复标准是在不影响土地再用功能的基础上,充分发挥和利用土壤的纳污能力和净化功能。也就是说,农业土地是否可以再用,农业土壤是否可以修复,污染土壤修复标准是其评判的基本依据,而土壤环境质量标准并不能有效做到这一点。

以往,我国均采用了土壤环境质量标准来判断农

表 7 丹麦土壤必要的污染消减标准

Table 7 Cut-off criteria for soil in Denmark

污染物	污染消减所需达到的水平(mg·kg ⁻¹ 干重)
As	20
Cd	5
Cr	1 000
Hg	3
PAH	15
苯并(a)芘	1
联苯(a,h)蒽	1

业土壤是否可以改作非农业用地。其实,这是愚蠢的做法,从科学上犯了一个极大的错误!由于采用土壤环境质量标准评判农业土地是否可以再用,导致了我国许多重要农业区大量肥沃、良好的可耕地和其他农业土地被“源源不断”地改作非农业用地。随着我国土壤环境污染的日益严重,我国农业土地和农业环境保护形势严峻,正在接受和面临着巨大的挑战。正是由于这一挑战,急需我国制定和颁布污染土壤修复标准。此外,污染土壤修复效果的评价,也需要污染土壤修复标准。

各国由于自然背景、土壤类型、土地利用情况等因素的不同,以及经济与技术水平的差异,完全照搬、照抄国外的标准是不现实的,也是完全不可行的^[18]。只有自主开展污染土壤修复基准的系统研究,才能制定出科学、合乎我国实际的污染土壤修复标准。

参考文献:

- [1] 周启星, 罗义, 祝凌燕. 环境基准值的科学研究与我国环境标准的修订[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 1-5.
- [2] Carter N. The Politics of the Environment: Ideas, Activism, Policy[M]. 2nd edition. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [3] 周启星, 孔繁翔, 朱琳 主编. 生态毒理学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] Fernández M D, Vega M M, Tarazona J V. Risk-based ecological soil quality criteria for the characterization of contaminated soils. Combination of chemical and biological tools[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 366: 466-484.
- [5] Owens E H, Henshaw T. The OSSA II pipeline oil spill: The distribution of oil, cleanup criteria, and cleanup operations[J]. *Spill Science & Technology Bulletin*, 2002, 7(3/4): 119-134.
- [6] Muri S D, Schlatter J R, Brüschweiler B J. The benchmark dose approach in food risk assessment: Is it applicable and worthwhile?[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2009, 47: 2906-2925.
- [7] van Wijngaarden D, Beck C, Shamlaye C F, Cernichiari E, Davidson P W, Myerse G J, Clarkson T W. Benchmark concentrations for methyl mercury obtained from the 9-year follow-up of the Seychelles Child Development Study[J]. *Neuro Toxicology*, 2006, 27: 702-709.
- [8] <http://www.nj.gov/dep/srp/guidance/scc/>
- [9] http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1192005/HTML/Main%20Report/Annex/Annex%20A/Annex%20A-C.pdf
- [10] Zhou Q X, Zhu Y M. Potential pollution and recommended critical levels of phosphorus in paddy soils of the southern Lake Tai area, China [J]. *Geoderma*, 2003, 115(1-2): 45-54.
- [11] 周启星, 孙铁珩. 关于系统开展污染土壤修复基准研究的建议[A]. 见: 香山科学会议第 212 次学术研讨会论文集[C]. 2003: 126-135.
- [12] 晁雷. 污染土壤修复基准建立的方法体系、案例研究与评价[D]. 北京和沈阳: 中国科学院博士论文, 2007.
- [13] 周启星. 污染土壤修复标准建立的方法体系研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 316-320.
- [14] <http://www.aehs.com/surveys/soil/98/NY98.HTM>
- [15] <http://www.aehs.com/surveys/soil/03/NY.HTM>
- [16] <http://www.state.nj.us/dep/srp/index.htm>
- [17] <http://www.contaminatedland.co.uk/order-it.htm>
- [18] Solomon D S, Hughey K F D. A proposed Multi Criteria Analysis decision support tool for international environmental policy issues: a pilot application to emissions control in the international aviation sector [J]. *Environmental Science & Policy*, 2007, 10(7-8): 645-653.