

中国主要类型土壤 Cd、Pb、Cu 和 As 的主要生态学指标和临界含量*

土壤环境容量协作组**

摘要 通过对中国主要类型土壤中 Cd、Cu、Pb、As 的生态效应和环境影响以及多指标、多体系确定土壤元素临界含量的研究,提出了中国主要类型土壤 Cd、Cu、Pb、As 的临界含量及其系统分类特征。

关键词 土壤元素;临界含量;土壤;环境容量。

土壤元素的临界含量(或基准)是指土壤元素既不影响农产品产量和生物学质量、又不导致地表水和地下水污染的最大含量(或阈值)。土壤临界含量是借以制定土壤环境质量标准的基础,而土壤环境标准是评价土壤环境质量、防治土壤污染,进行土壤环境质量管理的最基本的环境指标之一。但我国至今还未制定出土壤环境质量标准,目前我国大多数土壤质量的评价以不能确切反映土壤质量的土壤元素背景值加二倍标准差作为评价的标准。因此,研究土壤临界含量、借以制定出我国的土壤环境质量标准,是我国目前土壤环境工作的重要任务。

土壤元素的临界含量不仅决定于元素自身的性质,而且也决定于存在的自然条件,其中尤其是土壤类型及其性质。由于我国国土辽阔、自然条件多变、土壤类型繁多,这种多变的区域性因素会显著影响到元素在土壤中的行为和状态,影响到元素在土壤环境中的生态效应和环境影响,从而影响到土壤元素的临界含量。因此,研究我国主要类型土壤的临界含量是制定和完善我国土壤环境质量标准和区域性标准的最基础性的工作。

许多国家已在不同程度、不同方面对土壤元素的临界含量和质量标准进行了研究。苏联从土壤卫生学的角度,根据土壤微生物及其活性指标提出了某些元素的临界值或标

准^[1-3]。英国和日本曾根据土壤元素含量与作物产量的关系制定出某些元素的标准^[5,6]。澳大利亚、加拿大等国也曾提出过一些元素的最大允许量^[7-9]。总之,各国对土壤临界含量或质量标准的制定虽很重视,但研究的方法和制定的方式却十分不同,获得的数值也差异很大。这主要是由于各国在研究中多采用单指标、单体系的方法,而采用的指标和体系又不一样,因此,获得的数值自然不同。这些情况说明,目前国内外土壤临界含量的研究还处于探索性阶段,还未形成一种比较公认的,相对统一的方法。至于将土壤临界含量或土壤环境质量标准提高到因自然区域、土壤类型而异的水平来进行研究,却还未见报道。本文扼要介绍分布于我国的各主要类型土壤中四种元素临界含量的研究成果。

一、材料和方法

供试的土壤及其主要的理化性质列于表 1。

作物效应主要通过盆栽进行。处理浓度级别列于表 2。每种处理浓度重复 3—6 盆,

* 国家“七五”科技攻关项目。

** 协作组由中国科学院地理研究所、中国环境科学研究院、北京师范大学环境科学研究所、中国科学院沈阳应用生态所、中国科学院南京土壤研究所等 17 个单位组成。本文由夏增禄执笔。

表 1 供试土壤及其主要理化性质

土 壤	地 点	pH	代换量 (me/100g土)	CaCO ₃ (%)	有机质 (%)	<0.01mm 粒径(%)	土壤质地
普通灰钙土	甘肃白银	8.7	7.88	11.69	1.73	42.66	中壤土
砂砾质灰钙土	甘肃白银	8.8		12.73	1.17	42.90	中壤土
草甸褐土	北京高碑店	7.8	20	6.0	2.30		轻壤土
薄层黑土	吉林榆树	6.9	29.84		2.7	58.4	重壤土
中厚黑土	黑龙江哈尔滨	7.1	34.91		3.3	48.6	重壤土
深厚黑土	黑龙江海伦	7.0	37.72		5.6	52.6	重壤土
草甸棕壤	沈阳	6.5	19.2		2.0	42.0	中壤土
下蜀黄棕壤	江苏下蜀	6.6	18.0		0.5	48.1	重壤土
盱眙黄棕壤	江苏盱眙	7.0	21.7		1.2	47.6	重壤土
孝感黄棕壤	湖北孝感	7.5	17.5		0.7	52.6	重壤土
酸性紫色土	四川宜宾	5.7	12.0	0	1.1	36.7	轻壤土
中性紫色土	四川北碚	6.6	19.2	0.14	1.4	48.2	重壤土
石灰性紫色土	四川巴县	8.2	22.0	6.26	1.3	43.9	中壤土
红壤	江西赣州						
红壤	广东韶关						
赤红壤	广东广州						
潮土	广东广州						
砖红壤	广东湛江	5.4	15.0		1.1	34.0	轻壤土

表 2 栽培试验处理浓度 (ppm)

元素	处理浓度 (ppm)								
	CK	0.5	1	3	5	10	50	100	200
Cd	CK	0.5	1	3	5	10	50	100	200
Cu	CK	30	60	100	130	160	200	300	400
Pb	CK	250	500	700	1000	2000	3000	4000	
As	CK	5	10	15	20	30	40	60	100

对照处理重复不少于四盆，重复试验两年。栽培作物为水稻、小麦、大豆等，因区而异、各选其中地区性主要作物 1—2 种。小区试验仅种植一年，(三组重复)，所用作物与盆栽的相同。田间调查研究选在污染区进行，在收获期间同时、同点进行作物和土壤样品的采集。

径流试验分别在田间自然降水或人工降水下测定；小区试验区实际观测；盆栽(水稻)水层浓度观测。用所获数据评价对地表水的影响。

渗漏试验分别以 20cm 和 100cm 模拟土柱试验测定；田间小区试验地的土层剖面分层采样观测；区域实地调查研究。用所获数据评价对地下水的潜在影响。

土壤样品以王水-高氯酸消化，作物样

品以硝酸-高氯酸消化，用原子吸收分光光度仪测定 Cd、Pb、Cu。土壤和作物中的 As 是以王水消化、用氢化-原子荧光法或比色法测定。

二、土壤临界含量确定的方法和结果

土壤作为一个系统，它由土壤-植物、土壤-微生物、酶等组成，并与外界环境相互作用形成一个有机的自然体。因此，元素在土壤中的临界含量应全面考虑到这些体系，并在综合分析比较的基础上来确定。表 3 是用来确定四种元素土壤临界含量所需的体系与指标。土壤-植物系统是最主要的指标，它主要是借以保持土壤原有的良好生产力和经济效益，防止污染食物链而保证人体健康。前者从严要求，以作物减产 10% 作为限制指标；后者以国家颁布的粮食食品卫生标准为限。土壤-微生物体系是表征土壤微生物及其活性的指标，借以维持土壤正常的生命活动和代谢功能。由于这一体系的研究方法及与土壤生产性状关系的研究还不很成熟，因

表 3 确定土壤临界含量的依据

体系	土壤-植物体系		土壤-微生物体系		土壤-水体系	
	内容	农产品卫生质量	作物效应	生化指标	微生物计数	环境效应
地下水						地表水
目的	防止污染食物链、 保证人体健康	保持良好的生产 力和经济效益	保持土壤生态处于良性循环		不引起次生水环境污染	
标准	国家或政府主管部 门颁发的粮食卫生 标准	卫生指标或产量 降低程度	凡一种以上的生物 化学指标在 7 天以 上出现的变化	微生物计数指 标在 7 天以上 出现的变化	不导致地 下水超标	不导致地 表水超标
标准 级别	仅一种	减产 10% 减产 20%	$\geq 25\%$ $\geq 15\%$ $\geq 10-15\%$	$\geq 50\%$ $\geq 30\%$ $\geq 10-15\%$	仅一种	仅一种

表 4 紫色土各单体系的临界含量 (ppm)

土 壤	体 系 元 素	农产品卫生质量	作物效应(水稻)	土壤微生物 生物效应	环境效应	
					地下水	地表水
酸性紫色土	Cd	0.56	8	1-3	*	**
	Pb	255.1	493.6	500	*	**
	As	96.0	12.2	22	*	**
	Cu	275.0	70.0	100	*	**
中性紫色土	Cd	0.74	16	1-3	*	**
	Pb	434.4	> 4000	1000	*	**
	As	85.0	11.3	27	*	**
	Cu	317.4	112.4	130	*	**
石灰性紫色土	Cd	1.2	13	3-5	*	**
	Pb	428.6	523.9	2000	*	**
	As	24.0	10.0	37	*	**
	Cu	334.5	127.5	160	*	**

* 在临界含量范围内地下水不超标

** 在临界含量范围内地表水不超标

表 5 紫色土 Cd、Pb、As、Cu 的临界
含量 (ppm)

土 壤	Cd	Pb	As	Cu
酸性紫色土	0.56	250	13	70
中性紫色土	0.74	430	11	110
石灰性紫色土	1.20	430	10	130

此选取其中生化指标 $\geq 25\%$ ，微生物指标 $\geq 50\%$ 一级为限制指标。土壤-水体系是借以保证地面水和地下水不致发生污染，以国家颁发的地面水、地下水标准为限。表 4 即是以此为依据确定的紫色土各单体系四种元

素的临界含量。

对各单体系作了标准级别的选定后，各单体系的临界含量就不再做加权处理，而以最低值的体系做为限制性因素，进行比较、分析后得到该种土壤中某元素的临界含量。表 5 即是由此获得的紫色土中 Cd、Pb、As、Cu 的临界含量。

按表 4、表 5 方法归纳综合，获得的 18 种土壤中四种元素的临界含量列于表 6。

为使不同类型土壤的临界含量系统化，将元素作为单元，结合土壤分类系统可提出

表 6 各土壤 Cd、Pb、As、Cu 的临界含量 (ppm)

土 壤	Cd	Pb	As	Cu
普通灰钙土	2.3	300	25	110
砂砾质灰钙土	1.6	220	25	100
草甸褐土	1.57	300	21	
薄层黑土	1.3	506	42	230
中厚黑土	2.5	533	42	298
深厚黑土	1.9	622	42	289
草甸棕壤	1.31	236	45	
下蜀黄棕壤	0.3	586	51	99
盱眙黄棕壤		692	42	123
孝感黄棕壤		575	60	115
酸性紫色土	0.56	250	13	70
中性紫色土	0.74	430	11	110
石灰性紫色土	1.2	430	10	130
江西红壤	0.55	230	45	
广东红壤	0.56	345	47	53
赤红壤	0.46	287	38	45
潮土	0.64	366	35	104
砖红壤	0.63	342	45	80

我国主要类型土壤各级系统的临界含量 (表 7—10)。

从表 7—10 可知:

1. 就土壤类型而言, Cd、Pb、Cu 的临界含量有一相类似的趋势, 即一般我国南方的酸性土壤较低, 北方的石灰性碱性土壤较高, 中部的中性土壤居中。其中尤以 Cd 和 Cu 较为明显。As 的临界含量属另一类型, 一般是酸性土壤偏高, 而石灰性碱性土壤偏低。

2. 同一土类中不同亚类或土种的临界含量会因其土壤性质的变化而变异, 但其变化的程度仍受到土壤类型总体性质的制约, 除特殊情况外, 一般变化程度较小, 说明土壤临界含量象土壤分类系统一样, 也将具有系统分类的特性。

3. 由以上两点可见, 制定我国区域性土壤环境质量标准体系不仅是必要的, 而且是可能的, 本文结果已为此提供了依据。

表 7 不同类型土壤 Cd 的临界含量 (ppm)

土 类	临界含量	亚 类	临界含量	土 种	临界含量
灰钙土	2.3	灰钙土	2.3	普通灰钙土	2.3
				砂砾质灰钙土	1.6
褐色土	1.57	草甸褐土	1.57		
黑土	1.3	黑土	1.3	薄层黑土	1.3
				中厚黑土	2.5
				深厚黑土	1.9
棕壤	1.31	草甸棕壤	1.31		
黄棕壤	0.3	黄岗土	0.3	下蜀黄岗土	0.3
				盱眙黄岗土	
				孝感黄岗土	
紫色土	0.5	酸性紫色土	0.5		
		中性紫色土	0.7		
		石灰性紫色土	1.2		
红壤	0.6	红壤	0.6		
赤红壤	0.5	赤红壤	0.5		
		潮土	0.6		
砖红壤	0.6	砖红壤	0.6		

表 8 不同类型土壤 Pb 的临界含量 (ppm)

土 类	临界含量	亚 类	临界含量	土 种	临界含量
灰钙土	300	灰钙土	300	普通灰钙土	300
				砂砾质灰钙土	220
褐色土	300	草甸褐色土	300		
黑土	500	黑土	500	薄层黑土	500
				中厚黑土	530
				深厚黑土	622
棕壤	300	草甸棕壤	300		
黄棕壤	575	黄岗土	575	下蜀黄岗土	586
				盱眙黄岗土	692
				孝感黄岗土	575
紫色土	250	酸性紫色土	250		
		中性紫色土	430		
		石灰性紫色土	430		
红壤	345	红壤	345		
赤红壤	287	赤红壤	287		
		潮 土	366		
砖红壤	342	砖红壤	342		

表 9 不同类型土壤 As 的临界含量 (ppm)

土 类	临界含量	亚 类	临界含量	土 种	临界含量
灰钙土	25	灰钙土	25	普通灰钙土	25
				砂砾质灰钙土	25
褐色土	21	草甸褐色土	21		
黑土	42	黑土	42	薄层黑土	42
				中厚黑土	42
				深厚黑土	42
棕壤	30	草甸棕壤	30		
黄棕壤	51	黄岗土	51	下蜀黄岗土	51
				盱眙黄岗土	42
				孝感黄岗土	60
紫色土	10	酸性紫色土	13		
		中性紫色土	11		
		石灰性紫色土	10		
红壤	47	红壤	47		
赤红壤	38	赤红壤	38		
		潮 土	35		
砖红壤	45	砖红壤	45		

表 10 不同类型土壤 Cu 的临界含量 (ppm)

土 类	临界含量	亚 类	临界含量	土 种	临界含量
灰钙土	110	灰钙土	110	普通灰钙土 砂砾质灰钙土	110 100
褐色土		草甸褐色土			
黑土	230	黑土	230	薄层黑土 中厚黑土 深厚黑土	230 293 289
棕壤		草甸棕壤			
黄棕壤	99	黄岗土	99	下蜀黄岗土 盱眙黄岗土 孝感黄岗土	99 123 115
紫色土	70	酸性紫色土 中性紫色土 石灰性紫色土	70 110 130		
红壤	53	红壤	53		
赤红壤	45	赤红壤 湖 土	45 10+		
砖红壤	80	砖红壤	80		

参 考 文 献

[1] Перповская, А. Ф., Химия, ИАР, В, Чх(3), 12(1982).
 [2] Ильин, В. Б., Химия, ИДР, В, Чх(3), 5(1982).
 [3] Умаров, М. М., Гигиена и Санитария, 2, ИДР 53(1911).
 [4] Davis, R. D. et al., Plant soil, 49, 395(1978).

[5] Kakuzo, Kitagishi et al., Heavy Metal pollution in Soil of Japan, Japan Scientific Societies Press, 1981.
 [6] George, A. et al., J. W. P. C. F. 12(49), 2380(1977).
 [7] Webber, M. D. et al., J. W. P. C. F. 55(2), 180(1983).

(收稿日期: 1991年4月1日)

(上接第 61 页)

明, 各类作物组成的 SR 系统均有较高的去除有机污染物的能力, 但由于作物的不同特性和作物构成的土壤氧化还原条件差异, 系统出水的氮极限值通常成为工程设计的核心参数。氮极限值确定的水力负荷率表明, 天竺葵 SR 系统为 3m/a, 水稻 SR 系统为 4m/a, 小麦 SR 系统为 5—6m/a, 多年生黑麦草 SR 系统为 6m/a。一般地说, BOD 负荷率不是限制因素, 即使高达 3.57g/m²·d 也不会影响系统的工艺性能, 但氮负荷率一般不应超过 0.6—0.7g/m²·d。规定的水力负荷率和氮负荷率范围内, 投配水深采用 <7cm, 4—5

天投配一次污水的投配频率较为合适。

参 考 文 献

[1] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会, 水和废水监测分析方法, 第 108, 252—286, 354—368 页, 中国环境科学出版社, 1989 年。
 [2] U. S. Environmental Protection Agency, Technology Transfer Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater, pp. 4—6 and E-2, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, 1981.
 [3] 长谷川清, 国外农业环境保护, (1), 21(1986).
 [4] 中国科学院南京土壤研究所主编, 中国土壤, 第 366 页, 科学出版社, 1978 年。
 [5] 杨景辉, 国外农业环保动态, 试刊(1), 3(1984).

(收稿日期: 1991年4月1日)

SO₂ episodes always happened over heavy polluted areas, especially industrial areas or big cities, so the below-cloud scavenging of trace gases and particulates plays an important role for the formation of acid precipitation, no matter how the precipitating cloud is polluted or acidic or not, the oxidant is controlling reagent for the acidification of the precipitation in these areas; 3. The chemical composition of precipitation in typical rural area is dependent on that of precipitation cloud, i. e. dependent on cloud chemistry, where SO₂ is the control reagent; 4. The major oxidant in this subtropical area is H₂O₂. The higher the altitude the higher the concentration of H₂O₂ in cloud water would be. 5. Acid rain in this area is sulfuric acid type, nitric acid content has an increasing trend and the organic acid must be accounted for acidity of the precipitation. 6. No simple relationship was found among H⁺, NH₄⁺, Ca⁺², Mg⁺², SO₄⁻² and NO₃⁻ in precipitation. Many elements in precipitation were contributed from atmospheric particulates. Parameterizing buffering of particulate and coupling it to belowcloud scavenging model, the acidity gap of rain between field measurement and simulation. was much narrowed.

Key Words: acid rain, acid precipitation, chemical process of acid rain, acid rain in southwestern China.

Principal Ecological Indices and Critical Contents of Cd, Pb, Cu and As in Main Types of Soil in China. Collaborative Group on Soil-environmental Capacity (consisting of 17 units including Institute of Geography, Academia Sinica; Chinese Academy of Environmental Sciences; Institute of Environmental Sciences, Beijing Normal University; Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang; Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), pp. 29—34

This paper suggested critical contents of Cd, Pb, Cu and As in main types of soil in China and their classificatory characteristics based on the research results of ecological and environmental effects of Cd, Pb, Cu and As in main types of soil in China and the method for multi-index, multi-system determining critical contents of elements in soil.

Key Words: soil elements, critical contents, environmental quality, soil.

Improved Hydrolytic Tank-Stabilization Pond System for Cold Climate Area. Xu Xiaoming, Wang Kaijun, Tao Tao (Beijing municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp.35—39

In order to enhance treatment efficiency of stabilization ponds in winter, hydrolytic tank is adopted for pretreatment to reduce quantity of pollutants and improve the biodegradability of raw wastewater. Plastic green-

house which covers the pilotscale stabilization ponds was used for heat preservation. On the bases of thermal balance analysis and technical-economic analysis, this paper proposes an improved stabilization pond system which can retain the treatment efficiency in cold climate areas in winter.

Key Words: stabilization pond, degradation rate, thermal balance, organic load.

Forecast of Acid Precipitation in Guangxi by the Year 2000. Zhao Lingqing, Hao Jiming (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing), Ban Ling, Wen Weiming, Yang Fengzhu (Research Institute of Environmental Protection of Guangxi Autonomous Region): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 40—46

The research of this paper was carried out under the National Seventh Five-Year Key Program-Research on the Integrated Control Strategy of Acid Rain in South China. The paper considers a sensitive region of our country, the Xianggui Corridor, as the control region to predict the trends of acid precipitation in Guangxi to the year 2000. Coal consumptions and SO₂ emissions in 2000 were estimated by the method of elastic coefficient and trend extrapolation. By means of combining a regional-scale model with a local model, SO₂ concentrations and sulfur depositions in Xianggui Corridor without control in 2000 were predicted. pH value of precipitation in the same year was estimated by trend extrapolation.

Key Words: prediction of acid precipitation, SO₂ emissions elastic coefficient, trend extrapolation.

Study on the Purification of Filature Wastewater with *Ipomoea aquatica* Forsk Soilessly Cultivated on Artificial Substratum. Cheng Shupe, Ding Shurong, Hu Zhongming (Institute of Environmental Sciences of Nanjing University, Department of Environmental Sciences of Nanjing University, Nanjing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 47—51

Ipomoea aquatica Forsk was cultivated on the surface of wastewater discharged from a filature mill. In the process of removal of organic materials from the wastewater, *Ipomoea aquatica* Forsk showed a pretty good adaptability to the wastewater in static, dynamic and pilot experiments. 625 kg of *Ipomoea aquatica* Forsk could be gathered in ten days in an area of 667 m² during the period of time from June to July in 1988. The results show that the application of the technique of soilless cultivation of *Ipomoea aquatica* Forsk to ecological engineering of filature wastewater can not only purify wastewater, but also produce economic benefit. And it may be combined with the technique of soilless cultivation of *lolium multiflorum* lam so as to form a