

中国土壤对酸沉降的相对敏感性区划*

郝吉明 段 雷

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084 E-mail: hjm-den@tsinghua.edu.cn)

谢绍东

(北京大学环境科学中心, 北京 100871)

摘要 以土壤类型、土地利用和湿度为生态因子, 评价中国土壤对酸沉降的相对敏感性, 并利用地理信息系统的工具绘制了相对敏感性区划图。在评价土壤的缓冲能力时, 除了以土壤的化学性质为指标外, 还综合考虑了土壤质地和温度这两个重要因素, 使得评价方法更适合我国土壤理化性质差异大和南北温差大的特点。区划的结果表明, 我国对酸沉降最敏感的地区主要分布在东北的大兴安岭地区、云南的南部和华南沿海地区, 其次是东北地区、长江以南和青藏高原西部的广大地区, 而我国的绝大多数地区, 包括西北和华北地区, 对酸沉降较不敏感。

关键词 敏感性, 酸沉降, 生态系统, 土壤, 区划。

Mapping the Relative Sensitivity of Soils to Acid Deposition in China*

Hao Jiming Duan Lei

(Dept. of Environ. Sci. and Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084, China E-mail: hjm-den@tsinghua.edu.cn)

Xie Shaodong

(Center of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract The relative sensitivity of Chinese soils to acid deposition was assessed based on three ecological factors of soil type, landuse and soil humidity. The relative sensitivity map of China was also plotted through the geographical information system (GIS) tools. According to the regional differences in temperature and physico-chemical characteristics of soils in China, soil texture and temperature, as well as chemical characteristics, were taken into account for the first time as indicators to assess the buffering rate of soils. Results show that the most sensitive area to acid deposition in China refers to the Da-xing-an-ling Mountain in northeast China, the southern part of Yunnan province, and the coastal areas in south China. In addition, wide areas in northeast China, south to the Changjiang (Yangtze) River, and on the west of the Qingzang (Tibetan) Plateau are also sensitive. Although the sensitivity of soils varies significantly from site to site, large areas, especially in northwest China and in north China, are quite insusceptible to acid deposition.

Keywords sensitivity, acid deposition, ecosystem, soil, mapping.

关于中国酸沉降临界负荷的研究已有报道。^[1~3] 在评价土壤对酸沉降的相对敏感性方面, 近年来国内外开展了许多研究。Chadwick 等提出了以母岩类型、土壤类型、土地利用方式和降水量为生态因子的评价方法^[4]。在对非洲、美洲和亚洲的一些国家进行应用时, 考虑到数据的可获性, Chadwick 等又将该方法进行了简化, 仅采用土壤类型、土地利用和湿度(以降水量和蒸发量之比表示) 3 个评价指标, 其结果基

本上能够反映实际情况^[5]。 “八五”期间, 我国也开展了生态系统对酸沉降敏感性的研究, 并提出一种适合亚热带地区特点的评价方法, 完成了东部 7 省的酸沉降敏感性区划^{**}。 尽管上述

* 国家自然科学基金项目 (Project Supported by the National Natural Science Foundation of China): 59678016

郝吉明: 男, 52 岁, 教授, 博士生导师, 系主任

** 国家环境保护局等. 生态系统对酸沉降相对敏感性区划和临界负荷研究(国家“八五”科技攻关项目). 1995, 5~48

收稿日期: 1998-11-28

研究的结果都具有一定的合理性,但是考虑到它们所采用的方法均是针对特定的生态系统和特定的地区提出的,并不具有普遍性,也不完全适合中国这样地域宽广且自然条件复杂的地区.因此,在本研究中,笔者对敏感性评价体系进行了改进,并在此基础上进行中国土壤对酸沉降的相对敏感性区划.

1 相对敏感性评价方法

评价生态系统对酸沉降的相对敏感性,首先是确定那些可能影响生态系统对酸沉降响应的因素(即生境因子),并以不同的贡献率来表示它们在生态系统缓冲酸输入的过程中所起作用的相对大小.例如,欧洲所采用的生态系统分级指标体系包括4个生态因子:岩石类型、土壤类型、土地利用方式和降水量,其贡献率分别为2、1、3、1.然后,针对选择的每一个因子,根据它们可能影响敏感性的程度再划分成不同的等级,给出相应的权重.由于生态系统对酸沉降的相对敏感性是各生态因子综合作用的结果,因此将各因子的权重相加就得到生态系统对酸沉降的相对敏感性分级.在本研究中,建议采用的相对敏感性分级的指标体系如表1所示.与欧洲的指标体系相比,本体系将岩石类型指标和土壤类型指标合而为一,综合反映土壤对酸沉降的缓冲能力;其贡献率则采用两者之和.另外,考虑到仅用降水量作为反映土壤水分状况的指标是不完备的,因此用湿度指标代替,而贡献率不变.

表1 生态系统对酸沉降相对敏感性的分级指标体系

生态因子	贡献率	等 级	分级权重	综合权重
土壤类型	3	极低缓冲能力	0	0
		低缓冲能力	1/3	1
		中等缓冲能力	2/3	2
		高缓冲能力	1	3
土地利用	3	敏感	0	0
		中等敏感	1/3	1
		较不敏感	2/3	2
		不敏感	1	3
湿度	1	P PE 0.5(湿润)	0	0
		P PE< 0.5(干燥)	1	1

1.1 土壤的缓冲能力分类

土壤是一个庞大的酸沉降缓冲体系,不同土壤具有不同的缓冲能力.由于每种土壤类型都具有特定的理化特性,各土壤参数也都具有相应的典型分布,因此常把土壤类型作为区分缓冲能力的综合指标.

(1) 土壤 pH、阳离子交换总量和盐基饱和度对土壤缓冲能力的影响 土壤对酸沉降的响应主要表现在盐基阳离子的淋溶、pH 值下降以及有毒金属(主要是铝)的活化等.为了评价土壤对酸沉降的缓冲能力,可以用土壤 pH 值、阳离子交换总量和盐基饱和度等3个细化了的指标对土壤进行分类^[6].

(2) 土壤颗粒对土壤缓冲能力的影响 土壤颗粒是组成土壤的物质基础,随着土壤颗粒的变细和比表面积的增加,土壤的表面吸附性能、离子交换容量等化学性质以及吸湿量、持水量、孔隙率、粘结力等物理行为都会发生相应的变化,从而在整体上提高了土壤的风化速率.进而影响生态系统对酸沉降的相对敏感性.在土壤学分类中,粘土是指细粘粒(粒径<0.001mm)含量>30%的土壤.如果所考虑的土壤是粘土,则应适当提高该土壤的缓冲能力等级.

(3) 温度对土壤缓冲能力的影响 化学反应动力学研究表明,土壤的化学风化反应速率还取决于温度.温度对风化速率的影响可以通过阿仑尼乌斯公式定量化,它表示反应速率常数是温度和一个热动力学性质——活化能的函数.给定温度下的风化速率为:

$$r_T = r_s \exp - \left[\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{281} \right) \right] \quad (1)$$

其中, r_T 为温度 T 时的风化速率; r_s 为参考温度(通常指8)下的风化速率; E_A 为反应活化能, $\text{kJ} \cdot \text{kmol}^{-1}$; R 为普适气体常数, $\text{kJ} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

通常 E_A/R 可以取 $3600\text{K}^{[7]}$.显然,土壤温度越高,矿物化学风化也越快,土壤中和酸沉降的能力也就越强.而且,温度对风化速率的影响相当大,比如在8 时,温度增加4 将使风化

速率提高 50%。

(4) 营养物质的循环速率对土壤缓冲能力的影响 除了风化速率以外, 决定土壤缓冲能力的重要因素还有营养物质的循环速率。在有机物分解转化速率较快的生态系统, 盐基阳离子能够较快得到补充, 系统对酸沉降的耐受能力也较强。同样, 温度也是影响分解速率的重要因素。如果评价地区处于热带或亚热带, 应当适当提高土壤的缓冲能力等级, 相反, 如果该地区处于寒温带或者海拔高度很高, 则应适当降低土壤的缓冲能力等级。

综合考虑以上各种因素对我国各类土壤的缓冲能力进行分级, 结果如表 2 所示。

表 2 不同类型土壤的敏感性等级

土壤等级	土 壤 种 类
极低缓冲能力	漂灰土、砖红壤、赤红壤、燥红土
低缓冲能力	红壤、黄壤、棕壤、黄棕壤、暗棕壤、黑土、灰黑土、白浆土、草甸土、沼泽土、褐土、土、绵土、黑垆土、灰褐土、黑钙土、棕漠土、潮土、绿洲土、亚高山土、草原土
中等缓冲能力	草甸土、亚高山草原土、高山草甸土、高山草原土、高山漠土、高山寒冻土、石灰土、紫色土、水稻土
高缓冲能力	栗钙土、棕钙土、灰钙土、灰漠土、灰棕漠土、淤灌土、盐碱土、风沙土

1.2 土地利用方式分类

不同的植被类型与土地利用方式对酸沉降的敏感性存在较大的差异。针叶林对空气的过滤作用强于阔叶林, 导致酸性物质的干沉降量较大。同时, 针叶林还产生酸性的较粗的腐殖质, 营养物质的循环速率既低, 又增加了土壤的酸度输入, 使土壤对酸度输入的缓冲能力下降。对于农田, 由于遭受耕作、施肥、灌溉等措施的影响较为频繁, 对酸沉降很不敏感。在本文中, 植被类型和土地利用被分为如下 4 个等级:

(1) 敏感 包括茂盛的针叶林、稀疏的针叶林、茂盛的混交林、稀疏的混交林、热带雨林和热带森林作物。

(2) 中等 包括落叶灌木、刺灌木、灌木草

原、草原、草甸、热带稀树草原。

(3) 较不敏感 包括常绿阔叶林、常绿阔叶作物、常绿阔叶灌木、稀疏落叶阔叶林、茂盛的落叶阔叶林、落叶森林作物、灌木林地、稀疏的热带林地、茂盛的干旱落叶林和稀疏的干旱落叶林。

(4) 不敏感 包括沙漠、戈壁和荒地等通常认为不用保护的地区, 以及耕地(旱田和水田)、绿洲、种植园(茶、葡萄、甘蔗、棉花和水果等)和苗圃等。

1.3 湿度

P/PE 是降水量与土壤最大水分蒸发总量之比, 可作为衡量土壤中淋溶作用强弱的一个指标。当 P/PE 较小时(大约小于 0.25 ~ 0.5), 也就是说在干旱地区, 土壤中有有机质含量低, 不存在盐基阳离子的强烈淋溶, 矿物成分含量高。在这些地区, 一年中水分的净运动是向上的, 由地表有机物质分解和土壤中矿物风化产生的盐基阳离子随渗流水进入土壤上层, 从而导致可溶性碱性物质在土壤上层的累积。相反地, 当 P/PE 较大时, 土壤湿度也较高, 土壤可能由于淋溶作用而失去大量盐基阳离子并且缺乏可风化物, 因此缓冲能力偏低, 生态系统相应地也较敏感。

2 中国土壤对酸沉降的相对敏感性区划

2.1 资料和数据

评价我国各种生态系统对酸沉降的相对敏感性所需的资料主要来源于文献[8]和全国第二次土壤普查资料, 所使用的专业地图包括: 中国土壤图(1:1000 万); 中国土壤 pH 值和盐基饱和度概图(1:1800 万); 中国年降水量图(1:2640 万); 中国年蒸发量图(1:2640 万); 中国土壤质地图(1:1850 万); 中国年平均气温图(1:2640 万); 中国植被图(1:1850 万)。

2.2 区划图编制

中国土壤对酸沉降的相对敏感性图利用计算机进行编制。先在统一的工作底图上将各生态因子的分布图数字化(本研究中使用的工作底图是由中华人民共和国地图数字化得到的),

然后依据指标体系中土壤缓冲能力、土地利用和湿度的分级标准, 分别对中国土壤图、中国植被图和中国湿度图进行转绘, 合并等级相同的相邻图块, 并去掉一些过于细小的图块, 得到土壤缓冲能力类型图、土地利用类型图和湿度类型图. 最后, 应用地理信息系统(GIS)的工具MapInfo 将各因子图叠加, 经分析和处理后得到最终的区划结果. 在上述叠加的过程中, 可能得到 0~7 这 8 个相对敏感性等级. 但是根据惯例, 生态系统对酸沉降的相对敏感性等级一般只分为5级. 因此, 按照表3所给的划分标准对

将所得 8 个等级进行合并.

表 3 敏感性等级划分标准

敏感性等级	1	2	3	4	5
总权重	0	1	2、3	4、5	6、7
敏感性	极敏感	敏感	中等	不敏感	极不敏感

2.3 中国土壤对酸沉降的相对敏感性

按照表 1 的敏感性分级标准, 本研究得到如图 1 所示的中国土壤对酸沉降的相对敏感性区划图. 从图 1 中可以看出, 中国对酸沉降最敏感的地区主要分布在东北的大兴安岭、云南南

图 1 中国土壤对酸沉降相对敏感性图

部和华南沿海地区, 其次是长江以南、东北地区东部和青藏高原西部的广大地区. 而中国的绝大多数地区, 包括西北和华北地区, 对酸沉降不太敏感. 各敏感性等级所占国土面积的百分比如图 2 所示.

3 结论

(1) 生态系统对酸沉降的相对敏感性是由

该地区的土壤特性、植被特性和气象气候等多种因素共同作用的结果. 显然, pH 值和盐基饱和度低、可风化物质含量少、粘土成分含量低的土壤以及针叶林覆盖、湿度较大而气温低的地区, 对酸沉降较敏感. 导致我国南方大部分地区对酸沉降敏感的主要原因是土壤中可风化物质的含量较低, 土壤呈酸性; 而东北地区对酸沉降较敏感的主要原因则是该地区年均气温低, 土

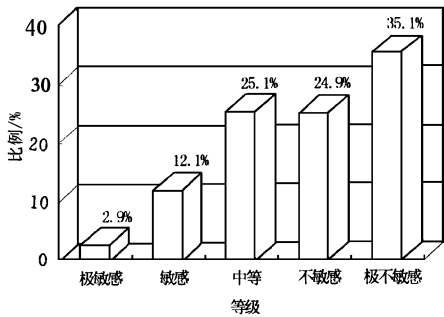


图2 各敏感性等级所占比例

壤中细粘粒含量较少。

(2) 与早先的研究相比, 本文在不改变评价生态系统相对敏感性的生态因子的情况下, 丰富和发展了评价的具体内容, 以适应我国幅员辽阔和自然条件复杂的特点。其中在评价土壤的缓冲能力时, 首次提出将土壤质地和温度这2个重要因素纳入到评价体系中去。这个改进集中反映了我国土壤物化性质的差异和南北温差大的特点, 更进一步突出了土壤的风化速率在土壤缓冲机制中所起的重要作用。

(3) 生态系统对酸沉降的相对敏感性的区划方法具有原理清楚、操作简单的优点。由于区划资料主要是各种地图, 易于获取, 信息量大,

非常适合于研究大范围的酸沉降问题, 也适合于计算机处理。但是, 此方法也存在着明显的缺点, 即区划结果比较粗糙, 这完全是由地图的精度所决定的。

参 考 文 献

- 1 谢绍东, 郝吉明, 周中平. 稳态法确定酸沉降临界负荷的基本理论探讨. 环境科学, 1997, 18(4): 5~9
- 2 谢绍东, 郝吉明, 周中平. 应用稳态酸化模型计算酸沉降临界负荷. 环境科学, 1997, 18(5): 6~10
- 3 谢绍东, 郝吉明, 周中平, 段雷. 中国酸沉降临界负荷区划. 环境科学, 1998, 19(1): 13~17
- 4 Kuylenstierna J C I, Chadwick M J. The Relative Sensitivity of Ecosystems in Europe to the Indirect Effects of Acidic Depositions. In: Kamari J, Brakke D F, Jenkiss A et al. Regional Acidification Models. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 3~21
- 5 Chadwick M J, Kuylenstierna J C I. Critical Loads and Critical Levels for the Effects of Sulfur and Nitrogen Compounds. In: James W S, Longhurst. Acid Deposition: Origins, Impacts and Abatement Strategies. New York: Springer-Verlag, 1991. 279~315
- 6 郝吉明, 谢绍东, 贺克斌. 生态系统对酸沉降相对敏感性评价原理与方法. 环境科学, 1996, 17(3): 77~80
- 7 Sverdrup H. The Kinetics of Chemical Weathering. Lund: Lund University Press, 1990. 246
- 8 熊毅, 李庆远主编. 中国土壤(第二版). 北京: 科学出版社, 1987. 39~304

• 书 讯 •

《废物生物处理理论和技术》 专著出版发行

由郑平、冯孝善教授主编的《废物生物处理理论和技术》科技专著, 已由浙江教育出版社出版发行。该书系统地介绍了废物生物处理和资源化技术的微生物学理论, 废物生物处理的生化反应工程原理, 废弃物生物处理性的研究方法, 重点论述了废水好氧、厌氧生物处理的工艺原理、动力学模式及设计参数; 固体废物、废气处理以及有机废物资源化的生物工

程技术。

本著作主要供作高等院校教师、研究生的教学科研用书, 科研设计部门专业人员参考书。每本定价 46 元(包括邮寄费)。欢迎订购。

联系人: 徐向阳、胡宝兰

地 址: 杭州市浙江大学华家池校区环保系

邮 编: 310029

电 话: 0571- 6971648