

华南红壤对酸雨敏感性的研究*

王敬华 张效年 于天仁

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文从我国红壤的特性和我国酸雨的特点出发论述了华南红壤对酸雨敏感性的特点。提出了研究红壤对酸雨敏感性的酸缓冲曲线法。根据土壤的酸缓冲曲线提出了两个具体指标:(1)土壤的酸害容量;(2)土壤的酸敏感值($\Delta\text{pH}_{\text{酸敏感}}$)。根据大量酸缓冲曲线的结果,对指标分别进行了初步分级,并对广东、广西、海南三省的土壤进行了概略分区。

关键词 酸雨,红壤,土壤酸化,土壤酸敏感性,土壤酸害容量

酸雨及其对生态环境的危害是当前全球性的环境问题之一。酸雨不断地进入土壤引起土壤酸化^[1],可使地上植物受害。严重酸化的土壤渗漏水进入水生生态系统后也可引起湖泊、河流等水体的酸化。由于酸雨对植物和水体的影响主要是通过土壤酸化体现出来,所以土壤酸化和预测已成为土壤学和环境科学中的重要研究课题。研究土壤对酸雨的敏感性实际上就是考察土壤遭受酸化的难易。

土壤对酸雨的敏感性主要受一系列土壤性质的影响,与酸雨的化学组成也有一定关系。据我国环境监察总站的调查资料(1985年8月—1986年8月)表明^[2],我国降水中 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 浓度雨量加权均值之比是4:1—15:1,可见硫酸盐所占的比例很高,对酸雨酸度贡献最大,是典型的硫酸型。我国的酸雨主要出现在长江以南^[3],该地区分布的主要土壤是红壤。由于红壤的化学特点与目前世界上酸雨严重的北欧、北美地区以灰化土为主的土壤有许多不同之处,所以过去研究北欧、北美土壤对酸雨的敏感性而提出的方法和指标不一定适用于红壤。本文根据红壤的化学特征和我国酸雨的特点,提出了研究红壤对酸雨敏感性的比较合理的方法和指标,根据大量实验结果进行初步分级,最后以华南三省为例,根据酸害容量的分级编制了土壤对酸雨的敏感性分区的概图。

一、红壤对酸雨敏感性的特点和指标

通常而言,土壤酸化主要是指土壤中氢离子和铝离子数量的增加^[4,5]。其具体过程大致是,酸雨中的氢离子与土壤胶体表面上吸附的盐基性离子进行交换反应而被吸附在土粒表面,被交换下来的盐基性离子随渗漏水淋失;土粒表面的氢离子又自发的与矿物晶格表面的铝反应,迅速转变成交换性铝。这就是土壤酸化的实质。

* 国家“七·五”科技攻关项目:“华南地区酸雨来源影响和控制对策”。

我国红壤的化学特点是粘土矿物以高岭石为主^[6], 土壤带有的负电荷比北方土壤低得多。通常的情况下, 土壤中的交换性阳离子以铁、铝占优势, 因而带有一定的正电荷, 对阴离子有较强的吸附能力。加之红壤呈酸性, 盐基饱和度低。所以, 红壤对酸和碱的缓冲能力弱。这是红壤与以 2:1 型粘土矿物为主、缓冲能力较强的灰化土不同主要之点。从图 1 可看出采自广西南宁的红壤对少量酸和碱的缓冲能力比南京的黄棕壤要弱, 譬如, 当加入 10mmol(+)/kg 土的酸或碱后红壤的 pH 值的变幅比黄棕壤大。

土壤对酸雨的敏感性实际上是土壤酸化难易的反映。土壤酸化是一个复杂的过程, 它包括一系列的反应, 难于用一种单项的指标定量地描述。土壤的敏感性指标的建立是随着对土壤酸度本质和酸化过程的认识的深化而逐渐完善的。

(一) 现用指标

目前常用的指标对我国红壤的敏感性研究有的有明显的不妥之处, 有的则不甚理想。例如, 在对北欧、北美的土壤研究中常用的盐基饱和度降低这个指标^[9,11]。它虽反映了盐基性离子减少的程度, 但它的计算涉及到土壤的阳离子交换量。对红壤类土壤来说, 阳离子交换量是个不确切的概念, 其数量随环境条件特别是 pH 而变。同时它也不能反映我国酸雨中占 70—90% 的硫酸的特点。pH 值降低是常用的另一个指标。它反映土壤溶液中氢离子浓度的增加。但是土壤在不同 pH 值时的缓冲能力不同, 在强缓冲范围内盐基性离子的减少不容易在 pH 值上反映出来。同时不同的 pH 水平时, 相同的 pH 单位实际所含的氢离子的量是不同的。近年来, 也有人将水化学中的酸中和容量^[10](ANC) 和碱中和容量(BNC) 的概念和方法应用于土壤酸化的预测研究, 但此法费时甚多, 且所得结果仅代表理论上的最终结果, 实际意义不大。石灰位(pH-0.5pCa) 的减小, 铝离子的增加也被用作土壤酸化的指标, 前者比用 pH 这个单一指标更能反映土壤的酸度状况^[8], 后者反映了土壤酸度的主要组分。但是这些指标并不能定量地直接反映土壤对酸雨的敏感程度。鉴于原有指标有其不足之处, 我们研究了并推荐下列新的指标。

(二) 推荐的指标

土壤的酸化与土壤的许多性质有关, 包括许多化学反应, 但土壤酸化的程度能比较集

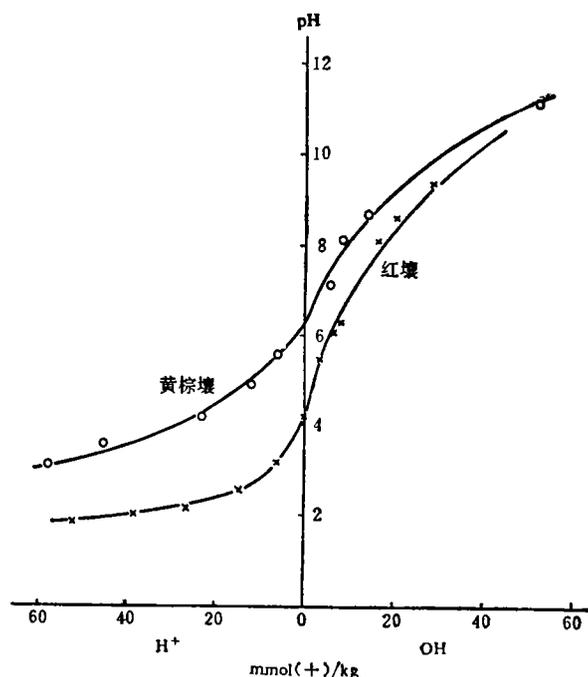


图 1 红壤(南宁)和黄棕壤(南京)对酸和碱的缓冲性的比较

Fig. 1 Comparison of buffer capability with acid and alkali between red soil (Nanning) and yellow brown soil (Nanjing)

中地反映在土壤的缓冲性能上。土壤在有酸性物质或酸性沉降物加入时阻止其 pH 值变化的能力,称为其对酸的缓冲能力。土壤对酸的缓冲能力强则对酸不敏感,反之土壤对酸敏感。土壤具有比较强的缓冲能力,主要是由于土壤固相物质的参与。在不同的 pH 范围内,负有缓冲作用的物质不同使其 pH 范围有明显的差异。Ulrich B. (1986)^[12] 将土壤的缓冲作用分为碳酸钙(缓冲范围 pH 为 8.6—6.2)、硅酸盐(pH > 5)、阳离子交换(pH 4.2—5)、铝(pH < 4.2)和铁(pH < 3.8)五个缓冲范围。对于酸性的红壤来说,主要的缓冲范围是后三者。如果向土壤中加入不同量的酸,平衡后测定悬液的 pH 值,将 pH 值对加入的相应酸量作图绘成曲线即为土壤的酸缓冲曲线。这曲线可以直观地、定量的反映出该土壤与不同量的酸反应后酸度变化的全貌。从绘制的酸缓冲曲线上不仅可以提出新的敏感性指标,也可以对土壤酸化进行概略的预测。

上述的土壤酸缓冲曲线主要受土壤的缓冲性能所制约,从本文最后一节将看到,不同类型的土壤其酸缓冲曲线可以有相当大的差异。但加入酸的种类不同,土壤酸缓冲曲线也有明显的差异。图 2 是一个红壤加入不同种类酸后绘制的酸缓冲曲线。图中 HNO₃ 和 H₂SO₄ 二条线的差异主要由于二者的阴离子不同引起的。同时又考虑到我国酸雨中硫酸根所占的比例很高,对降水酸度贡献最大外,仍存在一定量的中性盐^[17]。所以平衡土壤的酸溶液使用含有一定量硝酸钙的硫酸溶液,以更接近酸雨进入土壤后的实际变化情况。

酸缓冲曲线的测定方法:称取一定量风干土样(过 60 目)10 份,置容器中,分别加入硝酸钙溶液和已标定浓度的硫酸溶液系列,使土液比为 1:2.5。悬液中硝酸钙的浓度为 10⁻³mol/L。容器塞紧,振荡 1 小时后用玻璃电极电位法测定悬液的 pH 值,绘成酸缓冲曲线。

根据所绘成的酸缓冲曲线,可以提出表征土壤对酸雨敏感性的两个具体指标。

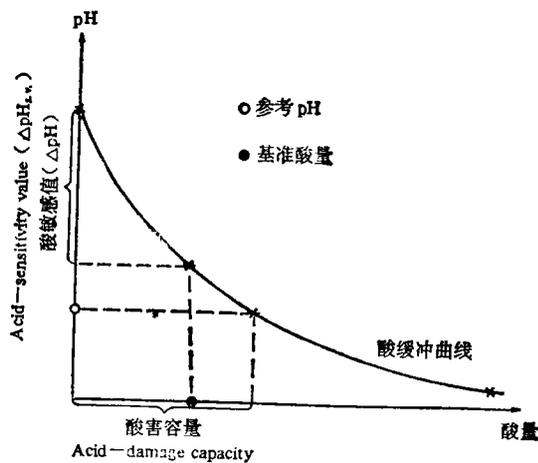
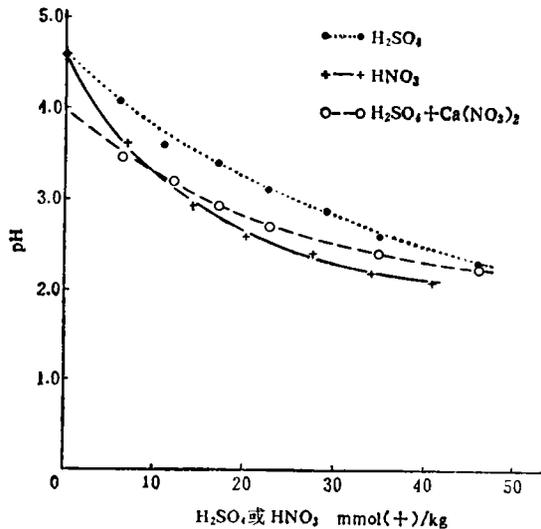


图 2 酸的种类和中性盐对红壤(南宁)酸缓冲曲线的影响

Fig. 2 Influences of acids and neutral salts on acid buffer curve of red soil (Nanning)

图 3 土壤的酸害容量和酸敏感值示意图

Fig. 3 Diagram of acid-damage capacities and acid-sensitivity values of soils

1. 土壤的酸害容量 土壤达到对植物致害的某参考 pH 值所需要的硫酸量。它表示土壤对酸的承受能力。

2. 土壤的酸敏感值 加入规定量的硫酸后土壤 pH 值比未加酸时土壤 pH 值的降低值。也可以 $\Delta\text{pH}_{\text{敏感值}}$ 来表示。它表示土壤对酸的敏感程度。

如何从土壤的酸缓冲曲线查出土壤的酸害容量和酸敏感值(即 $\Delta\text{pH}_{\text{敏感值}}$), 可参见图 3。这两个指标数值的大小与土壤的质地、粘土矿物组成、有机质含量和土壤原来 pH 值的高低有关。后者在相同 pH 值范围内的土壤有一定的可比性。

二、红壤对酸雨敏感性的分级

(一) 土壤的酸害容量的分级

对植物致害的 pH 值的选定是个困难问题, 因为在陆生生态环境中不是单一的植物结构, 而不同植物的酸害 pH 值的范围可以相差甚大。考虑到红壤的 pH 值较低和酸雨对森林的影响更为重要。我们选定 pH 3.5 为致害参考 pH 值, 这也是我国针叶林下土壤 pH 的最低值^[2]。对一般的陆地生态中的植物来说, 不到此参考 pH 值时已有受害的症状发生。将土壤的酸害容量分为 4 级(见表 1)。

表 1 土壤的酸害容量的分级

Table 1 Gradation of soil acid-damage capacities

等 级 Grade	酸害容量 ¹⁾ Acid-damage capacity	酸害难易 Suffering from acid damage	对酸敏感程度 Sensitivity to acid
I	<5	极易受害	最敏感
II	5—20	易受害	敏 感
III	20—50	稍易受害	稍敏感
IV	>50	不易受害	不敏感

1) mmol(+)/kg土。

(二) 土壤的酸敏感值的分级

根据大量华南土壤的酸缓冲曲线及我国酸雨的状况^[3], 选定每千克土壤 20mmol 的硫酸为基准。这个数值一般相当于该地区年均降雨量 1000mm 左右, pH 值为 4 的酸雨在 45 年左右的降酸量。将土壤的酸敏感值($\Delta\text{pH}_{\text{敏感值}}$)分为 4 级列于表 2。

表 2 土壤的酸敏感值($\Delta\text{pH}_{\text{敏感值}}$)的分级

Table 2 Gradation of soil acid-sensibility values ($\Delta\text{pH}_{\text{sensitivity value}}$)

等级 Grade	$\Delta\text{pH}_{\text{敏感值}}$ $\Delta\text{pH}_{\text{sensitivity value}}$	对酸敏感程度 Sensitivity to acid
I	>1.2	最敏感
II	0.8—1.2	敏 感
III	0.5—0.8	稍敏感
IV	<0.5	不敏感

上述两个指标反映的是土壤对酸雨敏感性的两种不同效应。酸害容量可以认为是个数量因素,酸敏感值则是强度因素。所以这两个指标的分级标准之间有密切的关系,但又不完全对应。

三、土壤对酸雨敏感性分区示例

根据采自广东、广西、海南三省的大量土壤标本的酸缓冲曲线的结果,依照上述指标的分级,结合考虑各类土壤的一些性质的异同,对三省的土壤进行了分级,并根据土壤的酸害容量编制了土壤敏感性分区概图(图4)。

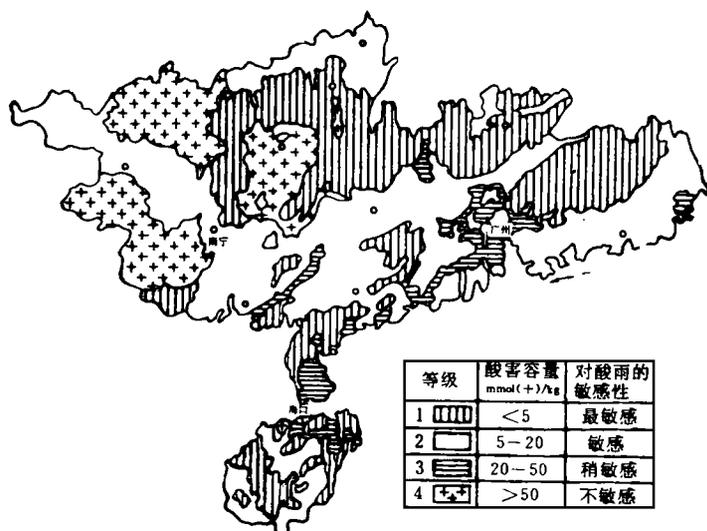


图4 广东、广西、海南的土壤对酸雨敏感性(酸害容量)分区概图

Fig. 4 Division map of sensitivity of soils to acid rain (acid-damage capacity) in Guangdong, Guangxi and Hainan

从分区概图来看,如果石灰岩发育的土壤不计,广东、广西和海南三省的土壤对酸雨的敏感程度绝大部分属最敏感和敏感两级。图5显示了对酸雨敏感性(酸害容量)不同等级的四种土壤的酸缓冲曲线。曲线 I、II、III、IV 是分别采自湛江、钦州、徐闻和柳州的土壤标本,它们的酸害容量分别为 3.0、12、33 和 80mmol(+)/kg土。下面简述各分区土壤的主要特性。

(一) 最敏感区

该区主要分布在两广的北部,雷州半岛的北部、海南岛的中西部。主要土壤类型是赤红壤、红壤和黄壤。土壤母质主要为砂岩、花岗岩、第四纪红色粘土、千枚岩等。粘土矿物以高岭石为主,还有少量水云母、蛭石等。土壤呈酸性或强酸性反应, pH 值多在 4.0—5.0, 石灰位值一般在 2.5 以下。一些植被较好的山地黄壤 pH 值低于 4.0。交换性铝含量多在 20—60mmol(+)/kg土。土壤的阳离子交换量多在 80—150mmol(+)/kg土。由于土壤的酸性强,肥力也低。

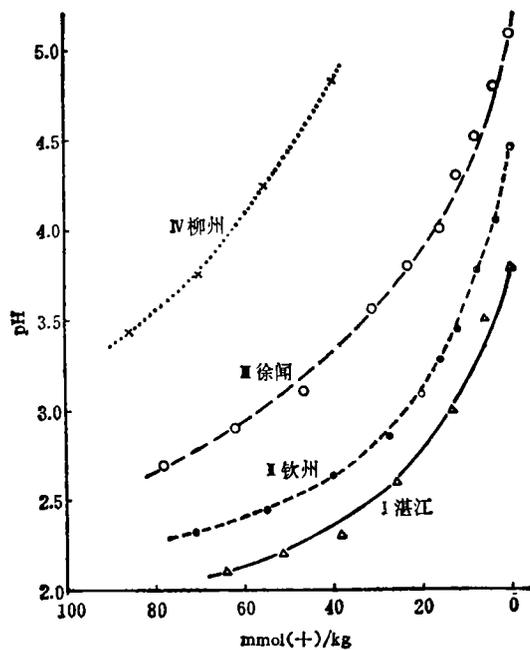


图5 不同等级的四种土壤的酸缓冲曲线

Fig. 5 Acid buffer curves of four kinds of soils

(二) 敏感区

该区位于南岭以南地区。主要包括广东东部沿海一带及广西东部的梧州至南宁,再向西延伸至百色、田林。形成一东西向的带状分布。桂北和海南也有分布。此区内土壤为赤红壤和红壤,也有一些水稻土。土壤母质有花岗岩、片岩、砂岩等。粘土矿物以高岭石为主,还有较多的水云母、蛭石等2:1型矿物。土壤呈酸性和强酸性反应,交换性铝含量多在20—50mmol(+)/kg土,土壤的阳离子交换量多在100—160mmol(+)/kg土。该区土壤对酸雨敏感,在三省中分布最广。

(三) 稍敏感区

该区主要位于雷州半岛的海康以南及珠江三角洲地区,海南东北部也有分布。土壤主要为发育于玄武岩的砖红壤、赤红壤和河流冲积物。砖红壤的粘土矿物以高岭石为主并含有大量三水铝石和氧化铁矿物,质地粘重,含粘粒可达70%以上。土壤呈酸性,pH值在5.0—5.5左右,石灰位值在3.5左右,交换性铝每公斤土壤只有几个毫摩,土壤阳离子交换量多为100—200mmol(+)/kg土。珠江三角洲冲积平原的土壤多为典型水稻土,呈微酸性反应,为本区内肥力较高的土壤。该区土壤对酸雨的敏感性较弱,但在三省中占的比重较小。

(四) 不敏感区

主要分布在广西的西北部、西南部和中部。土壤主要发育于石灰岩和非酸性的砂岩、砂页岩。土壤的风化程度浅,粘土矿物以蛭石和高岭石为主。pH值在6.5以上,石灰位值很高,一般在5.5—7.0之间,盐基饱和度大于80%,表观阳离子交换量可达200—

350mmol(+)/kg土。这类土壤对酸雨不敏感,在广西这类土壤虽有大面积的分布,但在长江以南酸雨分布地区中占的比例不大。

四、结 语

由于土壤酸化是一个复杂的过程,关于土壤对酸雨或酸性沉降物的敏感性的探讨,将随着对土壤酸化实质的深入认识而逐步完善。本文根据红壤的一些有关性质,提出的预测土壤酸化进程的酸缓冲曲线法及土壤的敏感性指标和敏感性分级仅是初步的。今后可以将土壤的酸缓冲曲线与土壤的其他化学性质如石灰位、氢氧化铝位等结合起来建立统一的模型,并以此模型预测土壤酸化的进程将更符合实际。

参 考 文 献

1. 李洪珍, 1989: 我国酸雨的区域化研究, 引自“酸雨”文集(中国环境科学学会编), pp.208—216, 中国环境科学出版社。
2. 刘厚田、杜晓明、张维平, 1989: 重庆南山的酸性降水与马尾松林衰亡, 引自“酸雨与农业”(中国林学会主编), p140—146, 中国林业出版社。
3. 魏复盛、王明震、王瑞斌等, 1989: 我国降水酸度和化学组成的时空分布特征, 引自“酸雨”文集, pp.203—207, 科学出版社。
4. 于天仁等编著, 1976: 土壤的电化学性质及其研究法。科学出版社。
5. 于天仁、陈志诚主编, 1990: 土壤发生中的化学过程。科学出版社。
6. 张效年、蒋能慧, 1964: 土壤的电化学性质的研究 III 红壤胶体的电荷特征。土壤学报, 第 12 卷 2 期, 120—131 页。
7. 赵安珍、张效年, 1989: 中性盐对红壤 pH 的影响。土壤, 第 21 卷 1 期, 5—9 页。
8. 于天仁等著, 1983: 水稻土的物理化学。pp. 173—206, 科学出版社。
9. Reuss, J. O., 1986: Acid Deposition and the Acidification of Soils and Water. N. Y. Springer-Verlag.
10. Van Breemen, N., Mulder, J. and Driscoll, C. T., 1983: Acidification and alkalization of soils. Plant and Soil, 75:283—308.
11. Rechcigl, J. E. and Sparks, D. L., 1985: Effect of acid rain on the soil environment: a review. Commun. in Soil Sci. Plant Anal., 16(7): 653—680.
12. Ulrich, B., 1986: Natural and anthropogenic component of soil acidification. Z. Pflanzenernähr Bodenk., 149: 702—712.

STUDY ON SENSITIVITY OF RED SOILS TO ACID RAIN IN SOUTH CHINA

Wang Jinghua, Zhang Xiaonian and Yu Tianren

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008*)

Summary

On the basis of the properties of red soils and the features of acid rain the characteristics of sensitivity of red soils to acid rain in South China are dealt in the present article. An acid-buffer curve method is put forward for studying the sensitivity of red soils to acid rain. In terms of soil acid-buffer curves two indices, i.e. soil acid-damage capacity and soil acid-sensitivity value ($\Delta\text{pH s.v.}$), are proposed. According to a lot of results of acid-buffer curves the primary classes of both indices and the reconnaissance division map of soil acid-sensitivity in Guangdong, Guangxi and Hainan have been made.

Key words Acid rain, Red soils, Soil acidification, Soil acid-sensitivity, Soil acid-damage capacity

《土壤学报》第 31 卷 增刊

——《菌根研究》专辑

《土壤学报》1994 年增刊——《菌根研究》专辑于今年 7 月份出版发行。本专辑汇集了 1993 年由中国土壤学会和中国微生物学会联合召开的第六届全国菌根学术讨论会的学术论文 30 余篇,并约请有关同志对国内外菌根研究进展和最新动态撰写了专题综述。内容包括:国内外菌根研究进展;我国菌根真菌资源及其应用;VA 菌根真菌分类;菌根与植物营养;菌根与植物水分代谢;菌根与植物防病等方面。反映了我国拥有丰富的菌根真菌资源,展示了菌根在促进植物吸收养分和水分以利植物生长的效果及其在农、林、园艺栽培等方面广阔的应用前景,以及国内菌根研究在广度和深度上的发展。内容丰富、资料新颖、综合性强、实用性广,具有较高的学术价值,也是国内首次较系统地报道我国菌根研究和应用方面最新研究成果和进展的论文集,对今后我国菌根研究的发展具有一定的指导意义。可供综合性大学生物系师生、农林院校师生、有关科研和生产单位工作者参考。每册定价 10 元(含邮资)。需要者可与南京市北京东路 71 号中国土壤学会办公室联系。邮政编码 210008。