

中国地表水酸化敏感性的区划

叶雪梅,郝吉明,段雷,周中平 (清华大学环境科学与工程系,北京 100084 E-mail: yexue mei97 @ mails . tsinghua . edu . cn)

摘要:地表水体的酸化与集水区的许多环境因子密切相关,如土壤对酸的缓冲能力、基岩中和酸沉降的能力以及土地利用方式等。其中,土壤的抗酸化能力是关键因素。因此可以根据集水区土壤、基岩和土地利用方式等信息来评估地表水在不同流量下发生酸化的可能性。本研究成功地应用已有资料和数据得到了我国地表水对酸沉降的敏感性等级,并绘制了地表水酸化敏感性区划图。结果表明,我国大部分地表水对酸化并不敏感。极易酸化和较易酸化的地表水主要分布在东北的北部地区,占有国土面积的 2.67%,是该地区强酸性漂灰土、酸性母岩和针叶林植被共同作用的结果。对酸化敏感性为中级和低级,即不易酸化的地表水主要分布在东北暗棕壤地区和南方富铝土区域,占有国土面积的 15.2%。其余 82.11% 国土面积上的地表水对酸化不敏感,完全不可能发生酸化。北方地区主要是由于土壤的强缓冲能力,而在南方,石灰质土壤以及耕作农田的广泛分布是最重要因素。南方重酸雨区由于土壤对酸化并不很敏感,因此在短期内不会出现大面积水体酸化现象。由于东北近年来频频出现酸雨,因此东北的酸沉降必须及早防治,以免出现大面积酸化水体。

关键词:地表水;酸化;敏感性;区划

中图分类号: X517 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)01-06-0016

Mapping Sensitivity of Surface Waters to Acidification in China

Ye Xue mei, Hao Jiming, Duan Lei, Zhou Zhongping (Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Acidification of surface waters can be decided by some environmental factors, such as soil's buffering capacity, neutralization capacity of bedrock to acid deposition and types of land use, among which the most important factor is the soil's resistance to acidification. Therefore, information about soils, geology and land use can be used to predict the regional occurrence of acidification surface waters under different flows. In this paper, information and data about Chinese soils, geology and land use types were collected to determine and to map the sensitivity of surface waters to acidification. Results showed that in China, most surface waters were not sensitive to acidification. The few most sensitive surface waters were located in the north part of Northeastern China, accounting for 2.67% of all the country land. It was the combined results of strongly acidified ortho podzolic soil, acidified bedrock and coniferous forest. Surface waters which were not very sensitive to acidification were distributed both in the region of dark brown forest soil in Northeastern China and in the ferralsol and yellow-brown earth area in Southern China, occupying 15.2% of all the country land. The other surface waters which distributed on 82.11% of all the country land were not sensitive to acidification at all. Most in the Northern China because of the high resistance of soils to acidification and the others were in the Southern China where calcareous soils and agricultural lands were widely distributed. Since soils were quite resistant to acid, acidification of surface waters of large area will not likely occur in the southern region of China suffering from heavy acid deposition in the near future. Nevertheless, the acid deposition in Northern China should be controlled as soon as possible in case that acidified surface waters will be found there.

Key words: surface water; acidification; sensitivity; mapping

酸沉降对水生生态系统的影响是酸雨研究中的重要课题,而对水体本身的抗酸化能力即酸化敏感性的研究是其中一个重要方面。国外较早地开展了有关水体酸化过程和水体对酸沉降敏感性及其区划的研究工作,提出了依据水体

本身性质如 pH、酸中和容量(ANC)和离子组成

基金项目:清华大学环境科学与工程研究院基金课题(项目编号:ENV9901)

作者简介:叶雪梅(1974~),女,博士研究生,主要研究方向为酸沉降污染及其控制。

收稿日期:2000-11-15;修订日期:2001-02-15

等来评价水体酸化敏感性的方法.我国也曾开展过这方面的研究^[1],主要基于水体本身的性质.近年来,有国外学者提出了根据水体环境条件如土壤、地质和土地利用类型等来判断水体对酸沉降敏感性的思路,在北欧得到了广泛的应用^[2~4].我国学者也曾应用敏感性等级划分的指标体系对南方生态系统的酸沉降敏感性进行研究^[5~6],但未曾进行过基于地表水酸化机理基础上的地表水酸化敏感性研究.本文在国内外已有相关研究的基础上,对评价地表水酸化敏感性的方法进行一定的修正,使其能更准确反映水体酸化的起因和实质,并应用该方法对中国地表水体酸化敏感性的地区分布进行研究.

1 基本理论

研究表明,地表水酸化不仅取决于降水和水体本身的物理化学性质,还与集水区的许多环境因子密切相关,如土壤缓冲酸沉降的能力、基岩矿物的风化能力、植被覆盖类型、海拔高度和降雨量等,其中最重要的因子是前3项^[7].也就是说,酸雨与流域土壤、岩石、植被的相互作用以及通过集水区的径流方式大体上决定了地表水酸化的程度和速率.在以径流形式流向河

流和湖泊以前,降水中的化学组成会随着它所流经的植被和土壤而发生变化.降水通过土壤时的水流分配也严重影响着地表水的性质.在小流量时,水流可以流经土壤底部,与母质矿物进行相对长时间的接触.而在大流量时,水流基本上只和上部土柱经过短暂接触后就进入地表水,这些水的化学性质在很大程度上只反映了土壤缓冲酸输入的能力.集水区的植被覆盖类型也会影响水体的酸化敏感性.通常,针叶林植被导致系统对酸沉降的敏感性增强,而阔叶林对酸沉降的敏感性较低,农耕地和荒漠对酸沉降最不敏感.

因此,在一个较大的范围内,有关地质、土壤、植被和水文特征的信息能用来估计酸性地表水的地区分布和在酸沉降影响下,这些地表水对进一步酸化的敏感性.

2 方法及数据来源

2.1 基本方法

依据上述理论,要判断地表水对酸化的敏感性,必须首先划分不同基岩和土壤中和及缓冲酸沉降的能力.对基岩,可以根据它们的组成矿物来划分不同的酸敏感性等级,见表1.

表 1 不同基岩的酸化敏感性等级

Table 1 Acidification susceptibility classification of solid geology

敏感性等级	基岩类型
高	花岗岩,酸性火山岩,粗砂岩,石英砂岩,脱钙砂岩,部分第四纪砂层
中	中性火山岩,不含碳酸盐的变质沉积岩,不纯砂岩和页岩,煤层沉积层
低	基性或超基性火山岩,钙质砂岩,泥岩和石灰泥,大部分冲积沉积岩
非	石灰石,白垩石,含白云石的石灰石和相关沉积物

土壤的缓冲能力与土壤pH、阳离子交换量(CEC)、盐基饱和度(BS)、质地、基岩、有机质含量、粘土矿物、钙含量、硫酸盐吸附能力等许多因素有关.通常,土壤pH或BS可以用来作为划分阳离子交换能力和对酸化敏感性的指标.同时,土壤矿物的风化速率也可以作为评价土壤抗酸化能力的参考指标之一(见表2).

这样,如果知道全国范围内的基岩类型和土壤类型的分布图,就可以得到2张分别反映土壤和基岩酸化敏感性等级的分布图,叠加这

2张地图就可以得到另1张图,即根据表3确定的地表水酸化敏感性等级分布图,它可以定性地预测不同水流条件下,酸化地表水的发生情况.其中,“极敏感”表示在各种水流条件下地表水都将发生酸化,“敏感”表示在大水流下易发生酸化,“中等敏感”表示不易酸化,“低敏感”表示非常不易酸化,“不敏感”表示不可能发生酸化.由表3可知,土壤对输入酸度的缓冲作用在很大程度上决定了地表水体在不同径流条件下对酸化的敏感性,这是符合地表水酸化机理的.

表 2 土壤敏感性等级划分标准

敏感性	BS/ %	pH	风化速率/ $\text{keq}\cdot(\text{h m}^2\cdot\text{a})^{-1}$
高敏感	< 20	< 4.5	< 0.2
中敏感	20 ~ 60	4.5 ~ 5.5	0.2 ~ 0.5
低敏感	> 60	> 5.5	> 0.5

表 3 由基岩和土壤敏感性决定的地表水敏感性等级

土壤敏感性	基岩敏感性			
	高	中	低	非
高	极敏感	敏感	中敏感	低敏感
中	中敏感	低敏感	低敏感	低敏感
低	不敏感	不敏感	不敏感	不敏感

为了考虑生态系统的植被覆盖类型,尤其是农耕地和荒漠对地表水酸化敏感性的影响,本研究采用了因子权重法进行分析,也就是对每一种植被类型赋予一定的分级贡献率(见表 4),然后根据每个网格内植被类型的组合贡献率来确定其对水体酸化敏感性的影响(见表 5)。

表 4 不同植被类型的酸化敏感性分级指标

影响因子	贡献率	等级	分级权重	等级贡献率
土地利用方式	2	I 针叶林	0	0
		II 灌木、草原	1/2	1
		III 阔叶林	1	2
	4	IV 农耕地、荒漠	1	4

表 5 不同植被类型贡献率对水体酸化敏感性的影响

Table 5 Influence of land use contribution rate on surface water acidification sensitivity				
组合贡献率	≤0.5	0.5 ~ 1.5	1.5 ~ 2.5	> 2.5
对酸化敏感性的影响	上升 1 级	保持原等级	下降 1 级	降到不敏感级

2.2 数据来源

用来进行我国地表水酸化敏感性区划的数据资料主要来源于:①中国土壤图^[8];②部分

省、市、自治区土壤图^[9~13];③中国地质图^[14];④中国植被图^[15];⑤中国土壤 pH 值和盐基饱和度概图^[8];⑥中国土壤风化速率分布图^[16~18]。

2.3 区划方法

以经纬度 1°×1°的网格为单元绘制中国地表水酸化敏感性区划图。根据每个网格内土壤及其基岩性质的平均值,可以分别绘制土壤和基岩对酸化敏感性的区划图,叠加这 2 张图,可以得到不考虑植被影响的中国地表水酸化敏感性区划图。在此基础上如果考虑土地利用类型,就可以得到中国地表水实际酸化敏感性区划图。

3 结果与讨论

图 1 和图 2 分别是根据 2.3 节描述的方法绘制的中国土壤及基岩对酸沉降的敏感性区划图。图 3 是图 1 和图 2 叠加后得到的不考虑植被类型的中国地表水对酸沉降敏感性区划图。

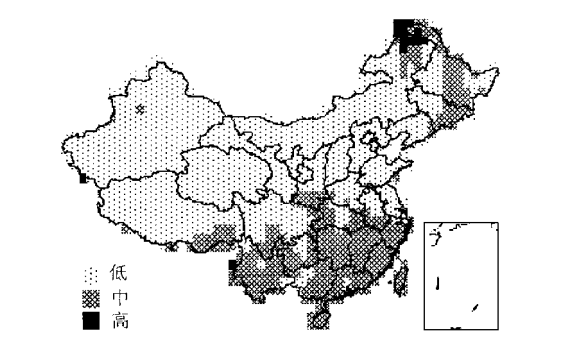


图 1 中国土壤酸化敏感性区划图

Fig.1 Mapping of acidification sensitivity of soils in China

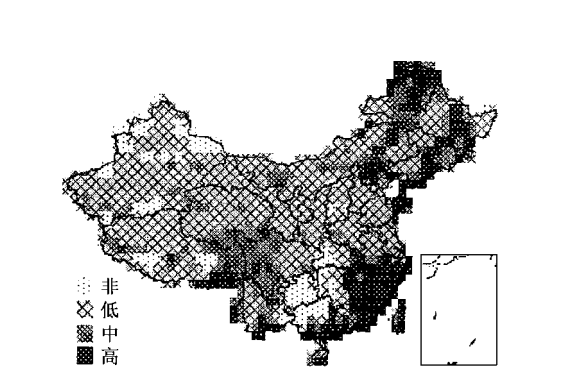


图 2 中国基岩酸化敏感性区划图

Fig.2 Mapping of acidification sensitivity of solid geology in China

由图 3 可知,中国地表水对酸沉降的敏感性可以粗略地分为 3 个区:东北区、南方区和其余地区。东北区又可分为 2 部分,其中大兴安岭北部的地表水对酸化最敏感,在各种水流条件下都易发生酸化,因为该区广泛分布对酸沉降十分敏感的漂灰土,矿物风化缓慢,淋溶作用强,土壤呈强酸性反应,盐基饱和度十分低,其成土基岩大多为难风化的花岗岩和酸性火山岩。土壤和基岩的性质共同决定了地表水对酸化的强敏感性。酸化敏感性为中敏感和低敏感的地表水在东北地区的分布也较广泛,主要集中于对酸化较敏感的暗棕壤地区,该土壤主要发育在酸性花岗岩和基性玄武岩上。如果地表水流经发育在花岗岩上的暗棕壤,则在大流量时易发生酸化,这样的地表水只占少数比例。而发育在基性玄武岩上的暗棕壤使得地表水对酸化的敏感性降低,不易出现酸性水。这在暗棕壤地区比较常见。

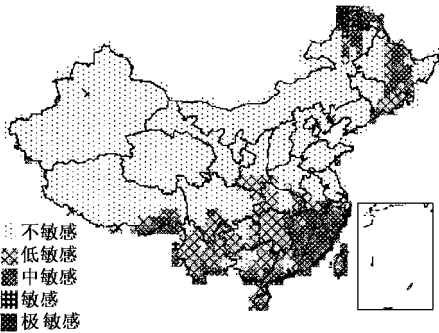


图 3 由土壤及基岩决定的中国地表水酸化敏感性区划图

Fig.3 Mapping of acidification sensitivity of surface water in China decided by solid geology and soil

位于我国秦岭-淮河以南和西藏东南部的大部分地表水对酸化的敏感性属中级和低级。南方尤其是东南沿海,广泛分布着风化强度很低的花岗岩、酸性火山岩和第四纪红色粘土,其上发育的土壤主要为砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤等铁铝土和黄棕壤、棕壤等淋溶土,虽然相对于其它土壤而言,这些土壤富铝化作用较强, pH 和盐基饱和度相对较低,但依据表 2 的划分标准,除了砖红壤外,其余各类土壤均属于对酸

化中等敏感的土壤,因此流经这些土壤的地表水对酸化并不很敏感,发生酸化的可能性不大。在我国云贵高原、川、桂等地区,还大量分布发育于石灰岩和含钙砂岩上的石灰石、紫色土以及红、黄壤等,由于基岩的影响,这些土壤的盐基交换量较大,对酸沉降的缓冲能力较强,因此石灰岩地区的地表水不会发生酸化。

除了上述地区以外,我国其它地区的地表水对酸沉降都不敏感,这和这些地区的土壤对酸化的强缓冲能力密切相关。因此总体而言,除了东北部少数地表水对酸化十分敏感和较敏感外,我国大部分地区的地表水对酸化都不很敏感,发生酸化的可能性很小,甚至根本不可能。

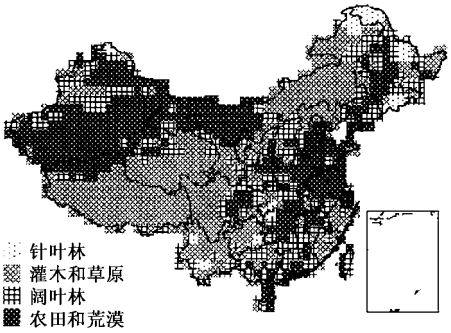


图 4 中国植被分布图

Fig.4 Mapping of land use types in China

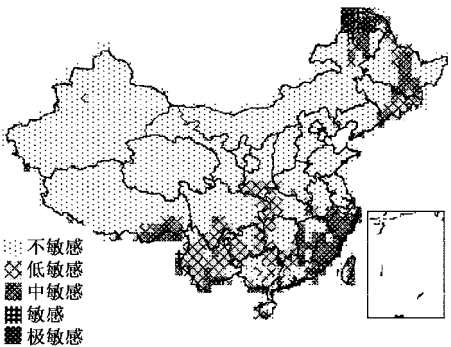


图 5 考虑农田耕种后中国地表水酸化敏感性区划图

Fig.5 Mapping of acidification sensitivity of surface water in China after considering agricultural land use

如果进一步考虑土地利用,即植被类型(见图 4)对地表水酸化的影响,那么地表水酸化敏感性的分布将会有所不同。图 5 为只考虑农田耕作这种土地利用方式得到的我国地表水酸化

敏感性区划图,图 6 则考虑了其它植被类型,如针叶林、阔叶林等对酸化的影响.比较图 3、5、6 可知,如果考虑农田耕作,那么含有对酸沉降不敏感地表水的国土面积有较大增加,从原来的 73.22% 上升为 77.94%(见表 6),尤其在南方的安徽、江西、湖南、广东和广西等省,因为在这些地区广泛分布着水稻田,由于施肥或施加石灰而使原来的酸性土壤保持较高的 pH 和盐基饱和度水平,从而大大降低了土壤的酸化敏感性,以致地表水完全不可能发生酸化.如果同时考虑其它植被类型的影响,则在东北地区,由于针叶林的分布十分广泛,从而使部分地表水的酸化敏感性增强,从原来不易发生酸化变为易发生酸化,含有极敏感和较敏感水体的国土比例从原来的 1.11% 上升到 2.69%(见表 6).而在南方地区,许多地表水对酸化的敏感性则要减弱许多,因为南部为热带雨林、季雨林的集中分布地带,向北则为亚热带常绿阔叶林,能使酸沉降强度减弱,含有不敏感地表水的国土比例上升到 82.11%.

综上所述,我国大部分地表水对酸化并不敏感.对酸沉降最敏感的地表水主要分布在东

北分布着酸性基岩,但由于土壤对酸沉降并不十分敏感,而且耕种农田面积较大,植被大多为对酸沉降不敏感的阔叶林,因此导致大多数地表水对酸化的敏感性较弱,发生酸化的可能性不大.这可能是至今尚未在酸雨污染严重的南方地区发现大面积水体酸化的重要原因.

但必须指出的是,本文是根据每个网格中土壤、基岩和土地利用方式的平均性质来预测地表水发生酸化的可能性.网格中某些特定点,尤其是气温较低、湿度较大、土壤贫瘠、植被以针叶林为主,且遭受重酸雨污染的高山集水区,可能对酸化十分敏感.这种情况在本研究中无法体现出来.因此,要想对地表水酸化敏感性进行更细致的研究,必须在提高上述方法空间分辨率的基础上,配合大规模的水质监测,只有这样,才能把我国众多地表水体对酸化的敏感性区划地更精确.

表 6 考虑不同影响因子时含有不同酸化敏感性等级地表水体的国土面积所占的比例/%

Table 6 Proportions of country land having surface waters with different acidification sensitivity class when considering different influencing factors

敏感性等级	影响因子		
	土壤 + 母质	土壤 + 母质 + 农田耕作	土壤 + 母质 + 植被类型
极敏感	8(0.74) ¹⁾	8(0.74)	11(1.02)
敏感	4(0.37)	4(0.37)	18(1.67)
中敏感	127(11.77)	103(9.55)	55(5.10)
低敏感	150(13.90)	123(11.40)	109(10.10)
不敏感	790(73.22)	841(77.94)	886(82.11)
总网格数	1079(100)	1079(100)	1079(100)

1) 前面的数字表示该敏感性等级所占的网格数,括号内的百分数表示在所有网格中所占的比例.

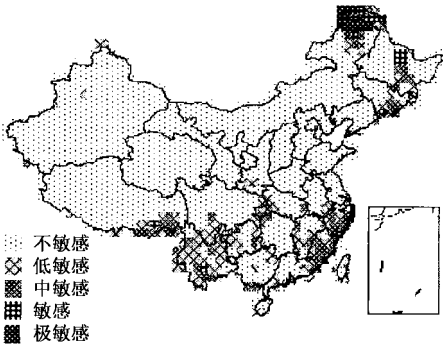


图 6 考虑植被类型后中国地表水酸敏感性区划图

Fig. 6 Mapping of acidification sensitivity of surface water in China after considering all land use type

北的北部地区,是强酸性漂灰土、酸性基岩和针叶林植被共同作用的结果.这值得注意,因为近年来在东北的部分地区频频监测到酸性降水,因此也必须防治我国东北地区的酸沉降污染,否则可能会出现大面积水体酸化现象.而在我国酸沉降污染严重的南方富铝土区域,虽然广

4 结论

(1)酸雨与流域土壤、岩石、植被的相互作用以及通过集水区的径流方式大体上决定了地表水酸化的程度和速率,因此可以根据集水区土壤、基岩和土地利用方式等信息来确定地表水在不同流量下发生酸化的可能性.在这一过

程中,土壤的抗酸化能力是关键因素.本文成功地应用已有资料和数据得到了我国地表水对酸沉降的敏感性等级,并绘制了地表水酸化敏感性区划图.

(2)我国大部分地表水对酸化并不敏感.极易酸化和较易酸化的地表水主要分布在东北的北部地区,占有面积的 2.67%,是该地区强酸性漂灰土、酸性基岩和针叶林植被共同作用的结果.对酸化敏感性为中级和低级的地表水主要分布在东北暗棕壤地区和南方富铝土区域,占有面积的 15.2%.其余 82.11%国土上的地表水对酸化不敏感,完全不可能发生酸化.

(3)南方重酸雨区由于土壤对酸化并不很敏感,因此在短期内不会出现大面积水体酸化现象.但由于东北近年来频频出现酸雨,因此东北的酸沉降必须及早防治,以免出现大面积酸化水体.

参考文献:

1 江静蓉,周修萍,秦文娟. 两广地区水域对酸雨的敏感性及其分区图.环境科学学报,1992,12(1):119~123.
2 Langan S J, Wilson M J. Predicting the regional occurrence of acid surface waters in Scotland using an approach based on geology, soils and land use. Journal of Hydrology, 1992, 138: 515~528.
3 Hornung M, Bull K R, Cresser M et al. The sensitivity of surface waters of Great Britain to acidification predicted from catchment characteristics. Environmental Pollution, 1995, 87: 207~214.

4 Hall J R, Wright S M, Sparks T H et al. Predicting freshwater critical loads from national data on geology, soils and land use. Water, Air and Soil Pollution, 1995, 85: 2443~2448.
5 周修萍.我国东部七省生态系统对酸沉降的相对敏感性.农村生态环境,1996,12(1):1~5.
6 陶福祿,冯宗炜.中国南方生态系统的酸沉降临界负荷.中国环境科学,1999,19(1):14~17.
7 Kernan M R, Allott T E H, Battarbee R W. Predicting freshwater critical loads of acidification at the catchment scale: an empirical model. Water, Air and Soil Pollution, 1998, 105(1/2): 31~41.
8 熊毅,李庆逵主编.中国土壤(第二版).北京:科学出版社,1987.39~303.
9 李庆逵主编.中国红壤.北京:科学出版社,1983.1~73.
10 四川省农牧厅,四川省土壤普查办公室.四川土壤.成都:四川科学技术出版社,1995.316~372.
11 黑龙江省土地管理局,黑龙江省土壤普查办公室编.黑龙江土壤.北京:农业出版社,1992.75~249.
12 广东省土壤普查办公室编著.广东土壤.北京:科学出版社,1993.105~190.
13 中国科学院青藏高原综合科学考察队.西藏土壤.北京:科学出版社,1985.65~145.
14 中华人民共和国地图集.北京:地图出版社,1984.
15 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会.中国自然地理——植物地理.北京:科学出版社,1981.
16 谢绍东,郝吉明,周中平等.中国酸沉降临界负荷区划.环境科学,1998,19(1):13~17.
17 郝吉明,段雷,谢绍东.中国土壤对酸沉降的相对敏感性区划.环境科学,1999,20(6):1~5.
18 段雷,郝吉明,叶雪梅等.中国土壤风化速率研究.环境科学学报,2000,20(增刊):1~7.