

陆地生态系统对酸沉降的 敏感性及其影响因素

杨秀虹 仇荣亮 岑慧贤

o 中山大学环境科学系,广州 $B\pi\omega\Delta B$

摘 要 陆地生态系统是酸沉降的最大接受者和缓冲者,故对陆地生态系统酸沉降缓冲能力及缓冲容量的研究是衡量酸沉降对生态影响和危害的中心环节。本文在总结以往研究的基础上,从陆地生态系统物质流各个环节的角度讨论了影响陆地生态系统酸沉降缓冲能力的各种因素,并提出了研究工作应注意的问题。

关键词 陆地生态系统 酸沉降敏感性 缓冲能力 影响因素

x 前 言

酸性沉降物对陆地生态和水生生态的影响,已成为全球范围的重大环境问题 ^{θ_{xx}} 。过去的若干年间,欧洲和北美东部的森林受到酸雨的严重损害,仅欧洲就有大约 $\Gamma u v \times x w^{\Gamma}$ φ^{1-y} 的森林生产力正在衰退 ^{θ_{yx}} 。在我国,酸雨是造成森林衰亡或生产力下降的重要原因。因此,酸雨的研究愈来愈受到重视。

y 酸雨的生态危害

酸雨可直接杀伤树叶,造成植物营养器官功能衰退,破坏植物细胞组织等 ^{$\theta_{z\kappa}$} ,还能引起森林冠层中 IE^{y+} 、 ϵv^{y+} 、 Ω^+ 、 $s\phi_A^y$ 、 $\partial\phi_z^z$ 等营养离子大量淋失,从而造成营养亏损 ^{θ_{κ}} 。

酸雨对水生生态的危害也相当严重,可导致表面水体酸化,甚至水生生物的衰亡 ^{$\sim\theta_{yk}$} 。

酸雨还能通过土壤对植物产生影响。酸性降水加速了土壤中 IE^{y+} 、 ϵv^{y+} 等营养阳离子的淋失,从而导致植物营养不良。土壤中的脱钙过程和 Φ 值下降则恶化了土壤中动物和微生物的生境,这同样会影响到植物生长所需的矿质营养的供给。此外,土壤酸

度的增大还导致了 Ξ 、 $T\sigma$ 、 ϵ^2 及其它有害金属的活化,最终会造成对林木的毒害作用 ^{$\theta_{xx\kappa}$} 。

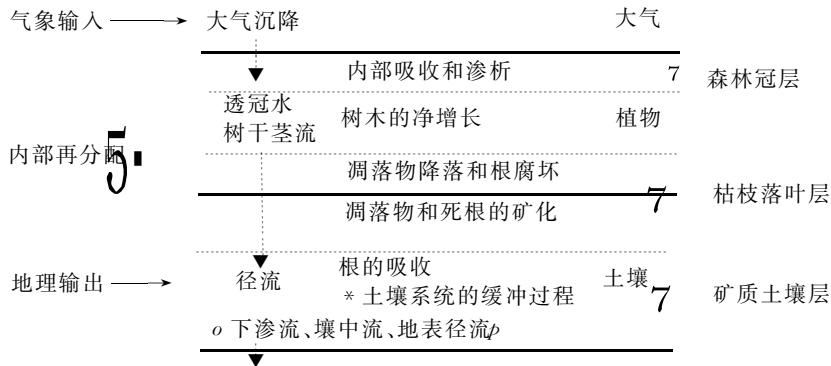
z 陆地生态系统与酸沉降敏感性

一般提到酸沉降敏感性,是指土壤在酸雨作用下酸化的难易程度,但本文认为酸沉降不仅仅影响土壤系统,而是影响整个陆地生态系统,故定义陆地生态系统酸沉降敏感性为:在酸沉降作用下,该生态系统发生变化的难易程度以及变化的幅度。主要表现在系统对酸化的抵抗能力、土壤中盐基离子淋溶的强度、土壤中铝和有毒重金属的活化程度以及该系统中的植物对酸沉降的承受能力等几个方面。如图 x 所示,在酸沉降作用下,陆地生态系统中主要的生物地球化学过程是发生在森林冠层、枯枝落叶层和矿质土壤层中。

z u 酸沉降与森林冠层的相互作用

森林冠层对雨水的溶液化学产生重要的作用 ^{$\theta_{\Delta\kappa}$} 。一方面林木的叶片表面选择性地吸收酸沉降物中的某些成分 ^{$\theta_{z\kappa}$} ;另一方面,酸沉降穿落森林冠层时对林木叶片有淋洗作用,包括对树木的代谢产物以及树木从大气

* 广东省自然科学基金 $Z\Gamma u u \Delta p$ 资助课题。收稿日期 $HxZZE-uA-xz s$ 修改稿收稿日期 $HZZE-u\Delta-y\Gamma$



图x 在酸沉降作用下陆地生态系统中主要的生物地球化学过程

* 土壤系统的缓冲过程包括: 胶体阳离子交换作用、弱酸及其盐类的溶解、沉淀、氧化物的溶解、沉淀、硅铝酸盐矿物的风化、固定、土壤对阴离子的吸附、 $\Pi\phi$ 、动力学、土壤 Φ 的影响。

中滤留颗粒状物质和气溶胶的淋洗^{0Δκ}。森林系统对酸雨淋洗的敏感性同树种、叶片的成熟度及健康状况等有关^{0κ}。如冷杉叶林冠层可以增大进入森林土壤雨水的酸度, 加速了针叶林土壤的酸化。而尖叶榕栗阔叶林冠层则对输入的酸雨有强烈的中和缓冲作用^{0Δκ}。

叶片表面的阳离子淋洗过程涉及到离子交换反应。在交换反应中, 在角质交换点位上的阳离子被雨水中的 Φ^+ 所交换^{0κ}, 这是阔叶林冠层对酸雨起中和缓冲作用的原因之一; 此外, 叶片中的碱性物质也消耗了水中的 Φ^+ , 同样起到缓冲作用, 但也造成了冠层中 $\Pi\kappa^y+$ 、 $\epsilon \nu^y+$ 、 Ω^+ 等营养阳离子的淋失。而针叶林冠层对酸雨表现出进一步的酸化作用, 则可能是植物分泌的酸性物质的释失和淋失造成的^{0Δκ}。

由此可见, 不同树种不同生长状况的森林冠层与酸沉降的相互作用过程是不同的, 故其缓冲能力也不同。 $\Omega_{\beta 37}$ 等^{0EK}根据冠层与酸雨作用的主要反应过程对其离子平衡及生物敏感性进行了定量估算, 其中叶面吸收某离子的量可由该离子沉降量与被叶面吸收部分的乘积估算; 某离子的叶面渗析量可由该离子在叶子中的含量、叶子总量、该离子的叶面渗析率常数三者的乘积求算^{0EK}。

≈ 0Y 养分在植物体内的贮存

森林系统中主要的养分贮存库可以是植物库或是枯落物库或是土壤库, 这要视不同

的地理位置和气候条件而定。如热带多雨地区, 林内枯落物分解快速, 土壤养分较贫乏, 故植物体中贮存有较多的养分, 否则养分易被淋失; 而温带林的枯枝落物含有很大比例的养分。此外, 森林吸收的养分, 有一部分是通过树木内部的养分运转与位移得到的, 这是树木为适应某些养分不足的机制^{0Zκ}。

酸沉降能使林木贮存的养分淋失, 但由于森林系统本身具有一定的自我调节机制, 所以对此有抵抗作用。通过对树木的净增长的估算, 可以推测出该森林系统对养分的保持情况, 并以此判断该系统对养分淋失的敏感性。

树木生长过程吸收某营养物质的量可由净生长的茎和分枝两部分所含该营养物质的量之和推算出^{0EK}。

≈ 1K 枯枝落叶层对酸沉降的缓冲作用

枯枝落叶层是酸沉降物作用于森林土壤亚系统的最先承受者^{0K}。酸沉降促进了盐基离子从枯落物中淋溶出来, 这反过来又对酸沉降起一定的缓冲作用。同时, 通过森林枯落物将养分元素归还土壤, 参与养分循环, 这也是森林系统抵抗因酸沉降而引起土壤养分淋失的反作用力之一。

不同的树种所含成分不同, 故归还土壤的物质亦不同。含有较多灰分的阔叶树的叶子残落后将大量灰分元素归还土壤^{0Δκ}, 从而对酸起缓冲作用。而大多数针叶树的树叶浸

出液带酸性,其林下的土壤往往呈酸性^{0ZK}。如木荷凋落物盐基含量高于杉木凋落物,研究结果也表明了木荷凋落物对酸雨的缓冲作用比杉木凋落物更强^{0TK}。

一般说来,当土壤酸度增大时,微生物活动都会受到抑制,这会影响凋零物和死根的矿化过程,故也影响了生态系统通过该过程对酸沉降的缓冲作用。如酸沉降物可使土壤有机物质的分解、氨化作用、硝化作用等减弱,从而减缓植物生态系统的养分循环^{0ΔK}。

计算营养元素归还量(通过枯枝落叶或腐根)可由活树体中该元素总量与叶凋落(或根腐坏)速率之积求得;同样,计算某营养元素通过矿化作用而释放的量可由枯枝落叶层(包括死根)中该元素总量与土壤矿化速率之积求得^{0EK}。

~ uA 植物根系的盐基吸收作用对酸沉降的缓冲作用

一般说来,当土壤中某种必需元素含量较低时,植物就会最大限度地加以吸收,这能有效地抑制土壤养分的淋失;而当土壤中某种必需元素含量高时,则植物被迫吸收一定数量^{0xAK}。植物吸收阳离子时,伴随有质子从植物转移到土壤溶液中。而当吸收阴离子时,则有质子从土壤溶液转移到植物体,这对酸沉降有缓冲作用。

酸沉降加速了植物营养阳离子的淋失,这又迫使植物吸取超过自身所需的养分量,从而以植物养分库的形式来抵抗酸沉降的影响。

根系吸收某元素的量K 植物净生长部分含该元素的量+由枯枝落叶和腐根归还该元素的量+该元素的叶面渗析量-该元素的叶面吸收量^{0EK}。

~ uB 土壤系统的缓冲过程

土壤对酸沉降具有一定的缓冲能力,其缓冲过程包括如下几个方面。

胶体阳离子的交换作用H 当有酸性物质进入土壤溶液时,土壤胶体上吸附的盐基阳

离子如 IE^{y+} 、 $e v^{y+}$ 等能与 Φ^+ 进行交换从而对酸起缓冲作用。阳离子交换量($II\varPi\varPi$)和盐基饱和度(Os)是反映阳离子交换的数量指标,同时也表征对酸输入的缓冲能力^{0xTK}。

弱酸及其盐类对酸的缓冲作用H 土壤中的 Φ 、 $II\phi$ 、 $v IE II\phi$ 能通过石灰性反应对酸起缓冲作用。一般石灰性土壤对酸沉降不敏感s 非石灰性土壤较为敏感^{0xTK}。土壤中的原生矿物质在一定 Φ 范围内遇酸释放出碱金属和碱土金属离子,从而使土壤中的酸得以中和^{0xTK}。其它弱酸盐类,如磷酸盐、有机酸盐等也具缓冲酸的能力。

氧化物及氢氧化物的缓冲作用:土壤中的氧化物和氢氧化物具有中和酸形成盐类的能力,也是缓冲酸的因素之一。氢氧化铝水解反应在缓冲能力弱的土壤中起重要作用^{0xyK}。次生三水铝矿的溶解反应也对酸有缓冲作用。当土壤处于铝缓冲范围时,能释出大量的活性铝,这些铝在一定条件下能与 $s \phi_A$ 发生沉淀反应形成新的固相,或生成有机络合铝而减轻铝的毒性。除铝的缓冲作用外, $T\sigma$ 的氧化物的溶解、 $T\sigma o \phi \Phi p_z$ 和 $s \phi_A$ 的还原反应等亦能消耗 $\Phi^{+0xx xAK}$ 。

硅铝酸盐等矿物风化的缓冲作用H 当 $\Phi \leq A\kappa v$ 的酸沉降进一步作用时,土壤主要通过硅铝酸盐等土壤矿物的风化过程消耗 Φ^+ ,释放出阳离子,实现对酸沉降的缓冲^{0xyK}。但值得注意的是矿物风化消耗氢离子的同时,释放出土壤潜性酸 $\Xi^{\varepsilon+}$,可能使土壤进一步酸化。需在具体环境中比较这两个过程(消耗 Φ^+ 和产生 Φ^+)的消减情况,来判断风化过程的总趋势是消耗 Φ^+ 还是产生 Φ^+ 。

土壤对阴离子的吸附作用H 土壤中阳离子的淋失速率在很大程度上受阴离子被粘土吸附强度的影响^{0BK}(重碳酸盐除外)。在酸雨影响下, $s \phi_A^{y-}$ 是引起土壤酸化和盐基淋溶强度增大的主要阴离子。可变电荷土壤对 $s \phi_A^{y-}$ 的吸附存在两种机制,即专性吸附和非专性吸附。其中专性吸附消耗 Φ^+ ,对酸有一

定缓冲能力,同时使盐基离子保持在土壤溶液中不致于被淋失掉。 $s\phi_A^{y'}$ 的吸附量与土壤中铁、铝氧化物的含量呈正相关,故高度风化的富铝化土壤对酸雨影响的敏感性可能是不高的 $t^{\theta\Delta\kappa}$ 。

土壤 Φ 的影响 H 土壤 Φ 也是限制土壤酸化进程的因素之一。如 Φ^+ 置换金属阳离子的效率强烈地依赖于土壤性质(如 $\Phi\rho^{\theta\kappa}$,又当酸雨 Φ 接近土壤 Φ 时,由于土壤溶液中的 Φ^+ 与交换性离子的平衡不受影响,因此酸雨的酸化效应将减弱 $\theta_{\Delta\kappa}$ 。

A 研究展望

oxp 如前文所述,可以通过研究酸沉降穿落陆地生态系统的整个过程来分析并在一定程度上定量估算生态系统对酸沉降敏感性。此外,也可以从几种主要元素(如 H 、 ϑ 、 s 、盐基离子等)的生物地球化学循环过程来讨论陆地生态系统对酸沉降的缓冲作用。 $P\sigma\gamma^6\chi\sigma\tau$ 已对此进行较详细的论述 $\theta_{\Delta B\kappa}$ 。其中,定量估计对酸缓冲程度的公式较简单,便于应用推广。但将各个元素的循环过程分离开来单独考虑会忽略各个过程之间的相互影响,如氮与硫同时沉降时可共同促进生态系统酸化 $\theta_{xz\kappa}$ 。此外该计算模式主要考虑的是元素循环与土壤酸化的关系,而没能反映出体现陆地生态系统酸沉降敏感性的其他方面,如植物对酸沉降的抗性、土壤有毒金属的毒害效应等,故原计算模式还需进行修正与补充。

oyp 陆地生态系统对酸沉降的敏感性主要表现在土壤与植被的反应上,对于土壤系统的评价指标已有不少研究 $\theta_{x\kappa}$,也较易确定。而植物方面的评价指标则较难确定。本文认为,对某一具体生态系统,可以通过确定在酸沉降作用下,植物的各种可能的响应指标(如叶片受害的临界浓度、铝毒害根系的临界值等)及统计各层(乔木层、灌木层等)中的优势种和敏感树种,并作出权值矩阵,以此筛选出最能合理地评价该生态系统中植物对酸

沉降响应的指标。

ozp 模拟酸雨的实验反映的是植物在强酸型酸雨作用下的受害情况或植物—土壤系统在长期雨量作用下的短期效应,这与实际情况有一定差距,故模拟分析应与室外调查采样设立生态定位点相结合。此外,还应结合具体地区的社会经济发展情况(如区域社会经济发展规划)来分析预测其生态环境的变化趋势。

参 考 文 献

x 仇荣亮等 *u* 陆地生态环境酸沉降敏感性研究. 环境科学进展 *xZZ\Theta* *Ap* *IE* $\sim yy$

y 杜宇国等 *u* 酸雨的生态影响及防治对策. 生态学杂志 *sxZZy* *\Theta* *xw* *\Gamma p* *IBx* $\sim BA$

z 张允华等 *u* 酸雨. 北京 *H* 中国环境科学出版社 *xZEZH* *x* $\sim yA$

A 曹洪法等 *u* 森林冠层对酸雨的反应及其影响. 中国环境科学 *xZEZ\Theta* *yp* *IEx* $\sim EB$

B 周修萍等 *u* 模拟酸雨对南方五种土壤理化性质的影响 *u* 环境科学 *sxZZy* *\Theta* *yp* *IF* $\sim xy$

\Gamma 汪思龙 *u* 凋落物对土壤酸化的缓冲及其对根系生长的影响. 生态学杂志 *xZZy* *\Theta* *xw* *Ap* *IEx* $\sim x\Delta$

\Delta 杨景辉编著 *u* 土壤污染及防治. 北京 *H* 科学出版社, *xZZB*

E $\Omega^6_{37} \Psi s \Upsilon^6_{33} \sigma_2 \sigma_2 \sigma_0 \sigma^6 \nu \Psi \Sigma s P \sigma^6_{36} X \Sigma s \delta \xi_2 \rho \gamma \xi_2 P \sigma^6_{36} s \xi^6_{31} \Pi u \beta_2 \pi \sigma^6_{38} \xi \chi^6_{35} \chi^6_{37} \chi^6_{23} \nu - \sigma^6_{31} 46 \sigma \rho \chi^6_{35} \chi^6_{27} 3 \tau \tau^6_{36} \sigma^6_{38} 7 3 \chi^6_{35} \xi \pi \chi^6_{37} \chi^6_{35} \chi^6_{23} \rho^6_{39} \sigma^6_{33} 2 \sigma \nu^6 \sigma \pi^6 \chi^6_{27} \sigma^6_{37} 3 2 \xi^6_{39} \circ \xi^6_{35} \chi^6_{35} u \delta \xi^6_{38} \sigma^6 s \Xi \chi^6_{35} \xi_2 \rho s^6 \chi^6_{35} \phi^6_{300} s \chi^6_{23} s xZZB \Theta xZH z B z \sim z \Delta B$

Z 曾天勋 *u* 森林养分循环 *u* 生态科学 *xZET\Theta* *ITZ* $\sim \Delta x$

xw 周修萍等 *u* 华南三省土壤对酸雨的敏感性及其分区图 *u* 环境科学学报 *xZZy* *\Theta* *ys* (x)

xx 赵忠 *u* 森林土壤酸化及其对林木生长的影响 *u* 土壤学进展 *xZEE\Theta* *IBx* $\sim B\Gamma$

xy 廖柏寒等 *u* 土壤对酸沉降的缓冲能力与土壤矿物的风化特征 *u* 环境科学学报 *xZZx* *\Theta* *xw* *Ap* *IAyB* $\sim A x w$

xz 肖辉林等 *u* 森林生态系统氮饱和与氮临界负荷量研究综述 *u* *xZZB\Theta* *Ap* *ITw* $\sim \Gamma y$

xA 于天仁等 *u* 土壤发生中的化学过程 *u* 北京 *H* 科学出版社 *xZZw*

xB $P \sigma \gamma^6_{37} \delta \sigma^6_{35} \xi^6_{31} \alpha \varphi \sigma^6_{35} \sigma^6_{38} \chi^6_{23} O \sigma^6_{31} \sigma^6_{32} s^6_{35} \chi^6_{35} \Xi \chi^6_{35} \chi^6_{27} \Xi^6_{39} \rho \Sigma^6_{31} \sigma^6_{38} \Pi^6_{35} \pi \chi^6_{27} u \delta \xi^6_{38} \sigma^6 s \Xi \chi^6_{35} \xi_2 \rho s^6 \chi^6_{35} \phi^6_{300} s \chi^6_{23} xZE\Delta \Theta B I \chi^6_{35} Z z \sim z x w$

作者简介

杨秀虹,女,yz岁,xZZ\Delta年毕业于中山大学环境科学系,现为在校研究生。目前主要从事华南地区土壤三角甲烷前驱物质组成流出机理研究。