Ξυ63μσ20χ6321σ28ξ0　φ6338σπ9χ92

大气ϑ 沉降的增加对森林营养和胁迫敏感性的影响

肖辉林

o 广东省生态环境与土壤研究所，广东 广州BrwΓBwp

摘　要H 概述了大气ϑ 沉降的发展趋势，讨论了ϑ 沉降增加对森林营养和胁迫的影响。提出在一些地区，大气ϑ 沉降已超过了森林生态系统的ϑ 需求；ϑ 沉降的大量增加对植物生长的刺激作用和对菌根的危害，可造成植物体内其它养分缺乏，导致森林养分失调；植物体内的高ϑ 水平将增加森林对胁迫的敏感性。

关键词H 大气ϑ 沉降；森林生态系统；营养失调；胁迫敏感性

中图分类号H：xzxw　　**文献标识码**HΞ　　**文章编号**Hrraaw—wyΓΔo yraawφrΓ—wzΔE—wy

由于人为排放的ϑ 对大气的污染越来越严重，若干年代以来大气ϑ 浓度不断上升，沉降量不断增加[θx ϑκ]。一些地区大气ϑ 沉降在数量上超过了某些森林生态系统的需求，给森林生态系统带来了一系列不良的后果。

x　大气ϑ 沉降趋势

北美和西欧的雨水分析表明，xraw 年来，雨水中的ϑφ$^{t}_{z}$ 浓度急剧上升，而ϑΦ$^{r}_{A}$ 浓度则相对稳定[θyκ]。本世纪Bw 年代至Ew 年代北欧和中欧的降雨化学资料表明，ϑφ$^{t}_{z}$ 浓度在BB 个监测站都呈上升趋势，ϑΦ$^{r}_{A}$ 浓度则在zΔ 个监测站略有上升[θzκ]。全球范围的ϑ 沉降量模式尚未见报道，但最近几年有些地区已对其作了估计。例如，据计算，目前欧洲大部分地区ϑ 沉降超过xwωυvoφ^{1y} •ξp[θxκ]。

在我国城市降水化学成分中，ϑΦ$^{r}_{A}$ 比国外o 美国、日本p 水平高z～xw 倍，ϑφ$^{t}_{z}$ 则略低于国外o 美国、日本p 水平[θA、Bκ]。虽然sφ$^{yt}_{A}$ 是影响我国降水酸度的主导离子，但ϑφ$^{t}_{z}$ 对我国的降水酸度也有影响[θAκ]。近xw 年来，我国南方一些地区的监测结果表明，各地雨水的含ϑ 量和由降雨带入的ϑ 量，都有很大的变幅；就平均而言，雨水中的含ϑ 量多在x～y^{1}υv∂ 之间，带入的ϑ 量多在ZΠw～xZιBωυvoφ^{1y} •ξp 之间[θΓκ]。在一些森林中，还发现有很高的ϑ 沉降，例如，在江西省分宜县大冈山林场的杉木oΠ^{922}χ^{2}υφξ^{1}χξ^{0}ξ^{2}πσ^{30}ξ^{8}ξp 林和马尾松oφχ^{2971}ξ^{7732}χξ^{2}ξp 林中，降雨ϑ 输入分别为ΓwιΓ 和BΔιωωυvoφ^{1y} •ξp[θZκ]。

y　ϑ 沉降的增加与森林营养失调

ϑ 刺激森林生产力的增长是否导致植物体内养分失调，在很大程度上决定于土壤养分供应与森林养分需求之间的关系。如果ϑ 刺激植物迅速生长，而植物对其它养分的同化都相对滞后，则缺素症将会发生。据报道，在生长着的森林生物体中，平均每年的净ϑ 积累约为B～xwωυvoφ^{1y} •ξp[θE、Zκ]；正常生长的树林，其叶片ϑ 含量与其它元素之间的比例需维持在一定的确定值或一定的范围值之内，如s：ϑ K wωιzw[θZ、xwκ]，ϑ：φ K Γ～xy，ϑ：Ω K x～z，ϑ：ϵ υ K E～zw[θxxκ]，但是在一些森林生态系统中，大气ϑ 沉降超过了系统的需求量，植物对过剩的ϑ 进行大量吸收，造成了其它养分出现"稀释效应"，引起森林营养失调[θxx、xyκ]。γξ^{2} PΩφω 和ρ^{3}σ^{93}τ^{7}[θxyκ]对荷兰东南部的欧洲赤松o^{4}χ^{2977}^{3}^{00}χ^{786}χp 黄化现象进行了调查，结果表明，因大气ϑ 的大量输入，黄化树针叶中的总ϑ 水平比绿色树的高；ϵ υ、Ω、φ 与ϑ 的比例严重失调；有病害的树其针叶中的色素含量明显降低，但含有大量的游离精氨酸，这是ϑ 严重超载的表现。

当生态系统中ϑΦ$^{r}_{A}$—ϑ 大量输入时，体内增加的ϑΦ$^{r}_{A}$ 与其它阳离子养分进行交换，使阳离子养分从叶片中淋洗出来[θzz、xAκ]，从而也可造成体内养分不平衡。ρ^{3}σ^{93}τ^{7}[θxzκ]的野外调查和生理生态实验都表明，在高大气ϑ 输入的科西嘉黑松oφχ^{2972}χυ^{6}ξ^{0}ξ^{6}^{1}ξ^{6}χ^{8}χ^{1}ξp 森林生态系统中，针叶吸收ϑΦ$^{r}_{A}$，并排出Ω、ϵ υ 和ΠΞ，导致Ω、ϵ υ 缺乏，引起叶片过早脱落。

在植物养分吸收方面，ϑΦ$^{r}_{A}$ 对其它所有的阳离子养分来说是强烈的拮抗体。ϑΦ$^{r}_{A}$ 大量输入土壤将导致土壤溶液中ϑΦ$^{r}_{A}$ 与其它阳离子养分之间的活度比提高，抑制根对阳离子的吸收，因为ϑΦ$^{r}_{A}$ 封闭根膜区域，阻碍其它阳离子养分在根膜上的吸附。ϑΦ$^{r}_{A}$ 的这种竞争抑制作用将加强植物体内养分的"稀释效应"。

菌根在大多数针叶林中对森林的养分吸收起重要作用。过剩的ϑ 沉降如果显著减少菌根的数量，那么将削弱根对养分的吸收，间接地引起森林其它养分的缺乏。目前已有一些研究发现菌根的减少与高ϑ 沉降有关，在高ϑ 沉降的荷兰森林中检测到菌根真菌的种类和子实体数量在最近几个年代都有相当可观的减少[θxBκ]；γξ^{2} ρσ Σσ^{6}ρσ^{2} 等[θxAκ]用ϑφ$^{t}_{z}$ 和ϑΦ$^{r}_{A}$ 烟熏花旗杉oφ^{7}σ^{9}ρ^{3879}υξ^{1}σ^{24}χσ^{7}χχp 树的实验结果显示了高浓度ϑ 可使菌根数量明显减少，从而为高ϑ 输入影响植物营养这一观点提供了间接的证据。

z　ϑ 沉降的增加与森林胁迫

收稿日期HZZZZ—xy—wy

植物体内的高ϑ 水平对植物有直接的和间接的有害影响。植物体内高ϑ 水平的间接影响主要包括森林对寒冷、霜冻、病虫害敏感性的增加。有关研究认为，过剩的ϑ 沉降将增加森林对寒冷和霜冻的敏感性θxΓκ，具有高ϑ 水平的森林更易受环境的影响。ϑχφ0υξ6ρθxΔκ指出，欧洲新型的森林衰退可能与大气ϑ 沉降的增加有关。有研究者在美国佛蒙特州红云杉（φχπσξ 69σ27）森林中观察到ϑ 沉降量、叶片ϑ 浓度、森林衰退症状与海拔高度相关，这种相关性暗示了ϑ 状态对森林的影响θxEκ。

高ϑ 输入引起耐寒性降低的机制可能是ϑ 的输入促进了森林生长，推迟了植物在生理上进入寒冷季节，延误了对耐寒或气候适应的调节；或者由于高ϑ 状态降低了体内碳水化合物的水平而使霜冻敏感性增加。已有实验θxEκ表明，ϑ 的输入消耗了体内碳水化合物，而碳水化合物水平影响着霜冻敏感性。

森林生态系统过剩的ϑ 输入对昆虫数量的潜在影响比较复杂。植物组织中可溶性的含ϑ 化合物对昆虫来说可能起摄食引诱剂、必需养分和毒素的作用。某些生态系统中ϑ 水平的提高将使以前受到蛋白质营养抑制的昆虫得到增殖。但是，许多植物的防护化合物含有ϑ（如生物碱），且在游离的有效ϑ 存在的条件下能得到增加，提高ϑ 输入将产生更多的含ϑ 毒素，植物对昆虫的敏感性也将降低。这是植物在高ϑ 状态下对虫害敏感性的两种不同情况。

ρ3σ03τ7 等θxzκ的研究表明，在荷兰的欧洲黑松oφχ2 97 2χ-υ6ξρ 森林中，所有受真菌Oθ92πφ3678χξ4χ2σξ 和Pχ4 03ρχξ4χ2σξ 侵染的树，其针叶中的含ϑ 水平都超过xΓωx1υυυ（干重），而不受侵染的都低于此值，说明ϑ 水平对真菌病害起重要作用。荷兰森林由于ϑ 的大量沉降，情况相当严重。欧洲黑松、科西嘉松、欧洲白栎和欧洲水青冈都受到病原体的严重侵染，大量叶片过早地褪色和脱落θxZκ。

A　结语

大气ϑ 沉降的增加对森林生态系统的影响是多方面的。在缺ϑ 的立地上，ϑ 沉降的增加可在一定程度上满足森林生长的ϑ 需求θyωκ；而在富ϑ 的立地上，ϑ 沉降的增加则产生了负效应，即可导致森林营养失调，增加森林对寒冷、霜冻、病害等胁迫的敏感性，因此，应该控制ϑ 的排放，从而控制ϑ 的沉降。

参考文献H

θxκ　Oσ682χτωχ Ψs Ξ9πξ13 Ψu Πξ0π90ξ8χ2υ 2χ863υσ2 ρσ437χ8χ32 χ2 Σ9-634σ θΨκu δξ8σ6 Ξχ0 s3χ0 φ30098 sxZEZs AΔHxωx—xyzu

θyκ　O6χ100σπ31oσφs s8σρ1ξ2 P Φu Φχ836χτξ0 σ0χρσ2πστ36 ξ ρ6ξ-1ξ8χτ χ2π6σξ7σχ2 8φσ 2χ66ξ8σπ31432σ283τ ξπχρ6ξχ2θΨκ wϑξ896σs xZEys yZEHAΓw—AΓyu

θzκ　ρ3ρφσ Φ s ρ33ρ ϵ Ψu ασ1436ξ0 σ03098χ32 3τ 2χ863υσ2 π3143-92ρ7 χ2 s1σρχφ 46σπχ4χ8ξ8χ32 7χ2πσ xZBBΨκu ϑξ896σs xZEΓs zyxHΔΓy—ΔΓAu

θAκ　王瑞斌s魏复盛s程春明s等u 我国南北方降水化学组分某些特征的研究ϑΞκu 见H中国环境科学学会编u 酸雨文集ϑΠκu 北京H中国环境科学出版社s xZEZuyyΔ—yzZu

θBκ　魏复盛s 王明霞s 王瑞斌s等u 我国降水酸度和化学组成的时空特征ϑΞκu 见H中国环境科学学会编u 酸雨文集ϑΠκu 北京H中国环境科学出版社s xZEZuyωx —yωΔu

θΓκ　朱兆良s 文启孝u 中国土壤氮素ϑϵκu 南京H江苏科学技术出版社s xZZyuyZΓ—yZEu

θΔκ　马雪华u 在杉木林和马尾松林中雨水的养分淋溶作用ϑΨκu 生态学报s xZEZsZoxp HxB—yωu

θEκ　Φσχ Τ δ s Pχσ1328 δ ϵ uρξχσρ2986χσ280σ0σ7 πφξ2υσ φσξ8φ-6ξ2ρχ283 υ6ξ770ξ2ρϑΨκu γσυσ8ξ8χ32 s xZEz s Bz Hxxz —xyωu

θZκ η3880 Φ δ uρσ1ξ6ω5 32 8φσ σττσπ87 3τ 2χ863υσ2 ρσ437χ8χ3283 τ36σ78 σπ3738σ17ϑΨκu φ0ξ28 s3χ0 s xZZωυ, xyEHEz —EZu

θxωκ　Ωσ003 Ψs ∂ξ1oσ68 ϵ Ψu αφσ6σ0ξ8χ327φχ4 oσ81σσ2 7904φ96 ξ2ρ2χ863υσ2 χ2 8φσ τ30χξυσ3τ φχ2976ξρχξ8ξϑΨκu φ0ξ28 s3χ0 s xZΔys zΔHzZB—Aωω Δu

θxxκ　Φ9880 ρ Τu ϑ986χσ28 7944 03 ξ2ρτσ68χχ σ6 σ24σ6χ1σ287χ2 0σ1 3τ ϑ 7ξ896ξ8χ32ϑΨκu φ0ξ28 s3χ0 s xZZωυs xyEHAB—BEu

θxyκ　γξ2 Pχφω Φ Τ Υs ρ3σ03τ7 ΨΥ ϵ u Σττσπ87 3τ σ2πσ77χ0σ ξ1 13-2χ91 ρσ437χ8χ32 32 8φσ 2986χ8χ32ξ0 78ξ897 ξ2ρπ32ρχ8χ2 3τ 4χ2σ2σσρ0σ1ϑΨκu φφ37χ0 φ0ξ28 s xZEEs Δz HAZA—Bωx u

θxzκ　ρ3σ03τ7 ΨΥ ϵ s Ωσ14σ67 ΞΨs Φ36ρχφω Ξ∂Τ ϵ σ8 ξ0 uαφσ σττσπ8 3τ ξχ0 —o3623σξ 1132χ91 7904φξ8σ32 φχ2972χυ6ξ 6ξ6 u ϵ ξ6χ8χ1ξχ2 8φσ ϑσ8φσ60ξ2ρ7ϑΨκ uφ0ξ28 s3χ0 s xZEBs EAHAB—BΓu

θxAκ　γξ2 ρσ6 Σσ6ρσ2 sδ Ψs ∂σωωσ6ωσ6ω∂ ΨΞs s1σ90ρσ67 s ϵ u Στ-τσπ87 3τ ξ8 1374φσ6χτ ξ1 1132χξ ξ2ρξ1 1132χ91 7904φξ8σ32 P39υξ7 τχ6oφ7σ9ρ3879υξ 1σ24χσ7χχρϑΨκ uΣ20χ632 430098 s xZZys ΔΓHx—Zu

θxBκ　γξ2 O6σσ1σ2 ϑ s O96639υφ φ Ξs γσ8φ3678 ΣΨσ8 ξ0 us3χ0 ξπχρχ-τχπξ8χ32 τ631 ξ8 1374φσ6χπ ξ1 1132χ91 7904φξ8σ χ2 τ36σ78 πξ2343 8φ639 φτξ00ϑΨκ u ϑξ896σs xZEys yZZHBAE—BBωu

θΓκ　T6σ6 —s1χ6φ φ Φs ϵ ξ27τχσ0ρ α Ξu αφσπ31oχ2σρ σττσπ87 3τ031 8σ14σ6ξ896σ ξ2ρs φy+ϑφy 430098χ32 32 8φσ2σ1 7σξ732n7 υ63-18φξ2ρ1ξ8σ6 6σ0ξ8χ327 3τ φχπσξ 7χ8πφσ27χ ϑΨκu ϑσ1 φφ3830 s xZEΔs xωΓHyzΔ—yBωu

θΔκ　ϑχφ0υξ6ρ Ou αφσ ξ1 1132χ91 φ3438φσ7χ Hξ2 ξρρχ8χ32ξ0 σ24ξ2ξμ 8χ32 838φσ τ36σ78 ρχσoξπωχ2 Σ9634σϑΨκu Ξ1oχ3 s xZEBs xAHy—Eu

θxEκ　ϵ 1ξ6υ30χ Φ Ξs δξ6χ2υ ρ ϵ uΠξ6O32 ξ2ρ2χ863υσ2 ξ003πξ8χ32 4ξ88σ62 3τ P39υξ7 τχ8 7σσρ0χ2υ7 τσ68χχ σρ 1χ8φ 2χ863υσ2 χ2 ξ9-891ϑΨκu Πξ2 Ψ Τ36 ρσ s xZEΓs xΓHEZΔ—Zωωu

θZκ　γξ2 O6σσ1σ2 ϑ s γξ2 Pχφω Φ Τ Υu Σπ37378σ1 σττσπ87 3τ ξ813-74φσ6χπ ρσ437χ8χ32 3τ 2χ863υσ2 χ2 8φσ ϑσ8φσ60ξ2ρ7ϑΨκu Σ20χ632 φ30098 s xZEEs BAHyAZ—yAΔu

θyωκ　肖辉林u 大气氮沉降与森林生态系统的氮动态ϑΨκu 生态学报s xZZΓs xΓoxp Hxωav—xωZu

作者简介H

肖辉林oxZΓx—p，男，硕士，广东省生态环境与土壤研究所副教授，发表论文zw多篇。

o下转封三p