

表 1 几种土壤在不同温度下 Cr(VI) 减少速率常数 k_1, k_2 值 (h^{-1})

| 土壤温度 | 土壤种类 | | | | | |
|------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 速率常数 | 青紫泥 | 黄棕壤 | 黄筋泥田 | 旱地红壤 | 砖红壤 |
| 10℃ | k_1 | 0.223 | 0.281 | 0.393 | 0.625 | 0.616 |
| 25℃ | | 0.225 | 0.281 | 0.378 | 0.598 | 0.545 |
| 35℃ | | 0.256 | 0.288 | 0.357 | 0.462 | 0.598 |
| 10℃ | k_2 | 5.45×10^{-3} | 4.39×10^{-3} | 4.02×10^{-3} | 9.27×10^{-3} | 6.62×10^{-3} |
| 25℃ | | 12.7×10^{-3} | 7.45×10^{-3} | 8.76×10^{-3} | 9.74×10^{-3} | 10×10^{-3} |
| 35℃ | | 20×10^{-3} | 8.23×10^{-3} | 10×10^{-3} | 5.09×10^{-3} | 8.23×10^{-3} |

同温度下五种土壤溶液中 Cr(VI) 减少速率常数 k_1, k_2 值可以看出(表 1): 温度对 k_1, k_2 值影响比较复杂,青紫泥和黄棕壤的 k_1, k_2 值,黄筋泥的 k_2 值随温度升高而增大,黄筋泥和旱地红壤的 k_1 随温度升高而减少,砖红壤的 k_1 值以 10℃ 时为最大,旱地红壤和砖红壤的 k_2 值以 25℃ 时为最大,由于不同土壤中有有机质含量和可氧化性是不同的,游离氧化铁、铝含量也是有差异的,温度的升高,有利于有机质与 Cr(VI)

的氧化还原反应,不利于土壤组分对 Cr(VI) 的吸附反应,因此, k_1, k_2 值随温度的变化取决于温度对 Cr(VI) 还原反应速率和吸附反应速率二者影响大小的综合效应。

参 考 文 献

1 陈英旭等. 环境科学学报. 1989,9(2): 137
 2 Jame B K et al. J. Environ. Qual., 1983, 12(2): 175

树冠及叶凋落物对模拟酸雨缓冲能力的初探

邓仕坚 陈楚莹 张家武 汪思龙

(中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110015)

摘要 用模拟试验的方法,对树冠、叶凋落物和鲜树叶缓冲酸雨的能力进行研究. 结果表明,阔叶树比针叶树缓冲能力大;树叶汁液 pH 高的比低的缓冲能力大;阔叶树面积的大小,与缓冲能力成正比;针叶则相反. 在 pH2.0、3.0 的处理中,它们的缓冲能力排序为: 叶凋落物>鲜树叶>树冠. 在 pH4.5 时,则是叶凋落物>树冠>鲜树叶.

关键词 模拟酸雨,叶凋落物,缓冲,树冠,叶汁液.

目前,对酸雨的污染与危害这一世界性问题的研究,近年来已做了大量的工作. 大多数研究着重于酸雨的成因、危害特征、估算作物产量的损失等方面^[1,2],而对于酸性气体和酸性降水对植物的影响以及植物本身对酸性的抵抗、缓冲、中和能力等方面的研究工作,至今人们还做得较少. 由于植物生理系统在受到干扰时期具有防御和修补功能^[3],所以对抗酸性而言,在某一 pH 临界值范围内,其恢复能力往往是存在的. Eaton 等指出,当酸雨通过北方阔叶

林冠层后,雨水中约 90% 的强酸被中和^[4].

本文试图用模拟酸雨的方法,对树冠穿透雨、叶凋落物和鲜树叶浸泡液以及叶汁液的 pH 值变化情况进行探讨,从中说明树冠、树叶本身对酸雨的缓冲和中和. 通过实验,比较不同树种对酸雨的抵抗能力、缓冲和中和能力,以便为进一步研究酸雨对森林生态系统的影响提供理论依据.

收稿日期: 1991 年 7 月 25 日

一、实验材料和方法

(一) 实验材料

1. 树冠穿透雨缓冲实验树种

马尾松 (*Pinus massoniana*), 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*), 火力楠 (*Michelia macclurei*), 檫木 (*Sassafras tsumu*), 水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*).

2. 鲜树叶缓冲实验树种

树种同上, 为当年生叶。

3. 叶凋落物缓冲实验树种

树种同上, 为当年的叶凋落物。

(二) 实验方法

1. 模拟酸雨的配制方法

用分析纯浓硫酸和硝酸配制成硫酸根离子和硝酸根离子的摩尔比为 8:1 的浓酸母液, 用该母液和清水配制成 pH 值为 2.00、3.00 和 4.50 的酸性水溶液。用未加酸的清水作对照, 清水的 pH 为 6.72。供实验用的酸性水溶液和对照的 pH 值, 用日本产 pH51 型 pH 计测定。

2. 喷雾方法

模拟酸雨和对照均用电动喷雾模拟降水形式。电动喷雾装置全部用沈阳塑料七厂生产的耐酸泵、管和喷雾嘴。喷雾嘴均匀地装在离树冠 80—100cm 高的耐酸管上, 喷雾直径为 2m 左右。喷雾时间为每天上午露水干后 9 时开始, 连续喷雾 30 分钟, 模拟降雨量为 7.3mm。

3. 树冠穿透雨的截接和测定

喷模拟酸雨前, 先把 1500ml 等大口径的玻璃器皿放在供实验树种的树冠下面, 待喷雾完后 30 分钟, 树冠基本无雨滴下落时, 把接水器皿拿回实验室, 待稳定 40 分钟后再测定其 pH 值。

4. 叶凋落物浸泡缓冲液的测定

称取当年去掉泥、沙和杂质风干后的叶凋落物 150g, 放在容量为 2000ml 以上的玻璃器皿或耐酸塑料桶内, 然后加入模拟酸雨 1500ml (叶凋落物和模拟酸雨的重量比为 1:10), 用盖盖好。每 2 天测定一次 pH 值, 连续测定 10—12 次, 待 pH 值基本稳定不变为

止。

5. 鲜树叶浸泡缓冲液的测定

选取无病斑、无虫吃和无机机械损伤的鲜树叶, 树叶和模拟酸雨的重量及其放置和测定方法与叶凋落物实验相同。

6. 叶汁液 pH 值的测定

摘取无模拟酸雨污染的新鲜树叶, 用滤纸擦干净, 剪碎。称取 3g, 研磨成糊状, 加蒸馏水 30ml, 搅拌 5 分钟, 过 20 分钟后再搅拌一次, 待稳定 30 分后测定其 pH 值。

二、实验基地自然概况

本实验在湖南省会同县中国科学院会同生态实验站完成。该地位于湖南省西南部, 自然植被主要是以多种槲、栲 (*Castanopsis* ssp.) 和石栎 (*Lithocarpus* ssp.) 属为主的亚热带常绿阔叶林。但是, 由于受人活动的影响, 原始的自然植被所剩无几, 代之以杉木为主的人工林和以马尾松为主的针阔混交林或以白栎、枫香 (*Liquidambar formosana*) 为主的次生落叶阔叶混交林。海拔一般在 300—500m, 年平均气温为 16.5°C, 年降雨量为 1200—1400mm, 年蒸发量为 1100—1300mm, 相对湿度在 80% 以上, 日照全年平均为 34% 左右, 平均风速为 1.5—2.0m/s, 全年生长期长达 300 天左右。

该地位于源水上游, 与我国重酸雨地区重庆、贵阳等地同属一个气候带, 自然植被也很相似, 为云贵高原向江南丘陵的过渡地带。境内地势南低北高, 无大型工矿企业, 当地群众均以木柴为燃料, 污染源很少。降水 pH6.50 左右。所以, 我们把该地作为非酸雨地区。

树冠模拟酸雨实验林为四年生树, 生长非常旺盛, 各树种的林分测树学因子见表 1。各树种的实验处理为两个重复, 每个处理均有 30—40 棵树, 树冠穿透雨的 pH 测定值为两个重复的平均数。各种实验处理的模拟酸雨 pH 值分别为 2.00、3.00、4.50、6.72 (对照)。

实验在 7—10 月份的晴天进行。实验期间的室外气温为 30—34°C, 水温为 29—32°C; 室内气温为 28—32°C, 水温为 28—30°C。

表 1 不同林分的测树学因子

| 树种 | 处理 pH | 平均树高 (m) | 平均地径 (cm) | 平均冠幅 (m) | 树冠高度 (m) | 树冠叶面积 (m ²) |
|-----|-------|-------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------|
| 马尾松 | 2.00 | 1.82 | 3.37 | 0.55 | 1.54 | 9.34 |
| | 3.00 | 1.85 | 3.42 | 0.60 | 1.59 | 10.76 |
| | 4.50 | 2.03 | 3.59 | 0.67 | 1.75 | 11.02 |
| | 6.72* | 2.02 | 3.56 | 0.65 | 1.73 | 12.15 |
| 杉 木 | 2.00 | 2.95 | 3.62 | 0.68 | 2.63 | 2.16 |
| | 3.00 | 2.97 | 3.81 | 0.76 | 2.65 | 2.36 |
| | 4.50 | 2.98 | 4.01 | 0.91 | 2.66 | 2.38 |
| | 6.72 | 3.07 | 4.10 | 0.88 | 2.76 | 2.58 |
| 火力楠 | 2.00 | 3.19 | 2.93 | 0.70 | 2.86 | 2.98 |
| | 3.00 | 3.64 | 3.12 | 0.75 | 3.30 | 3.04 |
| | 4.50 | 3.87 | 3.49 | 0.82 | 3.55 | 3.21 |
| | 6.72 | 3.77 | 3.27 | 0.80 | 3.45 | 3.40 |
| 檫 木 | 2.00 | 4.05 | 4.32 | 1.04 | 3.36 | 3.87 |
| | 3.00 | 4.35 | 4.48 | 1.20 | 3.64 | 5.01 |
| | 4.50 | 4.97 | 5.25 | 1.30 | 4.35 | 5.32 |
| | 6.72 | 4.57 | 4.85 | 1.28 | 3.97 | 5.22 |
| 水 杉 | 2.00 | 3.10 | 4.24 | 1.01 | 2.87 | 2.69 |
| | 3.00 | 4.58 | 7.08 | 1.10 | 4.34 | 3.19 |
| | 4.50 | 4.87 | 7.30 | 1.38 | 4.68 | 3.37 |
| | 6.72 | 4.79 | 7.73 | 1.35 | 4.58 | 3.24 |

* pH6.72 为喷清水的对照实验(处理 pH 栏均同)

三、结果讨论

(一) 树冠穿透雨

树冠对酸性降水的缓冲、中和能力,就是树叶本身的抗酸能力。由于降雨过程会把存在于植物叶和茎的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 、 Mn^{2+} 等离子洗脱下来,而酸雨更加助长了这种淋洗过程^[5]。Shriner 证明,以 pH3.20 的模拟酸雨处理菜豆和柳栎叶部,结果使叶子脱去了表面蜡质、角质和角质层蜡质,而 pH6.00 的模拟酸雨对叶部的侵蚀则很小^[6]。另外,树叶表面也可改变雨水的化学性质。当滞留在树叶表面的雨滴变干,雨水的酸度也可以因叶部排放出的化学物质而改变^[6]。树叶本身的这种功能,从广义来说,可称之为缓冲或中和能力。

表 2 是 11 次树冠穿透雨的两个重复的平均 pH 值,每次测定的平均值都较稳定,每个处理相互之间的差距都不大,只有树种之间的差距大。从 11 次树冠穿透雨的平均 pH 值可以

看出, pH2.00、3.00、4.50 三个处理的马尾松、杉木、水杉三个树种,不但没有缓冲作用,反而使模拟酸雨的 pH 分别降低了 0.01—0.03、0.01—0.04、0.01—0.50 个 pH 单位,纯清水处理的对照 (pH6.72) 也降低了 0.25—0.34 个 pH 单位。火力楠、檫木两个树种的各 pH 处理都显示出缓冲变化, pH2.00、3.00、4.50 的分别升高了 0.17、0.28—0.30、1.27—1.29 个 pH 单位。对照实验也升高了 0.60—0.68 个 pH 单位,即从微酸性变成了弱碱性。

为了便于比较各树种的树冠对模拟酸雨的缓冲效果,利用方差分析来进行单因素多重比较,结果列于表 3。从表 3 比较结果的 Q 值可以看出,针叶树之间的比较,除 pH4.50 的马尾松:杉木和马尾松:水杉之间的比较显著外,其它各处理 Q 值的差异都不显著。阔叶树之间的比较,各处理都不显著,说明火力楠和檫木两个树种的树冠对模拟酸雨的缓冲能力大致差不多。而阔叶树与针叶树之间的比较,不管那个

表 2 不同树种树冠穿透雨的 pH 值

| 树 种 | 处理 pH | 测 定 次 数 | | | | | | | | | | | 平均 |
|-----|-------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| 马尾松 | 2.00 | 1.99 | 2.00 | 1.94 | 1.98 | 2.00 | 1.96 | 1.97 | 1.95 | 1.99 | 2.00 | 1.99 | 1.98 |
| | 3.00 | 3.00 | 2.98 | 2.99 | 2.97 | 2.99 | 3.02 | 3.01 | 2.98 | 3.00 | 3.00 | 2.99 | 2.99 |
| | 4.50 | 4.04 | 4.00 | 3.98 | 4.01 | 3.99 | 3.95 | 3.92 | 4.02 | 4.00 | 4.01 | 4.05 | 4.00 |
| | 6.72 | 6.60 | 6.62 | 6.58 | 6.45 | 6.29 | 6.39 | 6.25 | 6.42 | 6.20 | 6.19 | 6.21 | 6.38 |
| 杉 木 | 2.00 | 2.00 | 1.98 | 1.97 | 2.01 | 2.00 | 2.02 | 1.97 | 1.98 | 1.99 | 2.00 | 2.01 | 1.99 |
| | 3.00 | 2.99 | 2.99 | 2.98 | 3.01 | 3.02 | 3.01 | 3.00 | 2.98 | 2.99 | 2.98 | 3.00 | 3.00 |
| | 4.50 | 4.51 | 4.52 | 4.50 | 4.51 | 4.49 | 4.44 | 4.50 | 4.51 | 4.50 | 4.47 | 4.46 | 4.49 |
| | 6.72 | 6.48 | 6.43 | 6.49 | 6.45 | 6.47 | 6.49 | 6.42 | 6.48 | 6.47 | 6.46 | 6.49 | 6.47 |
| 火力楠 | 2.00 | 2.19 | 2.16 | 2.19 | 2.20 | 2.15 | 2.16 | 2.18 | 2.16 | 2.18 | 2.14 | 2.14 | 2.17 |
| | 3.00 | 3.28 | 3.33 | 3.30 | 3.29 | 3.24 | 3.31 | 3.30 | 3.25 | 3.28 | 3.26 | 3.24 | 3.28 |
| | 4.50 | 5.87 | 5.81 | 5.98 | 5.50 | 5.64 | 5.77 | 5.88 | 5.88 | 5.70 | 5.71 | 5.76 | 5.77 |
| | 6.72 | 7.35 | 7.30 | 7.31 | 7.44 | 7.25 | 7.33 | 7.35 | 7.35 | 7.35 | 7.30 | 7.20 | 7.32 |
| 檫 木 | 2.00 | 2.16 | 2.20 | 2.21 | 2.15 | 2.13 | 2.14 | 2.20 | 2.20 | 2.16 | 2.13 | 2.15 | 2.17 |
| | 3.00 | 3.21 | 3.43 | 3.42 | 3.30 | 3.28 | 3.40 | 3.22 | 3.22 | 3.25 | 3.26 | 3.31 | 3.30 |
| | 4.50 | 6.35 | 6.21 | 5.98 | 5.97 | 6.02 | 5.53 | 5.90 | 5.40 | 5.70 | 5.22 | 5.44 | 5.79 |
| | 6.72 | 7.54 | 7.33 | 7.30 | 7.41 | 7.47 | 7.41 | 7.42 | 7.42 | 7.35 | 7.35 | 7.37 | 7.40 |
| 水 杉 | 2.00 | 2.00 | 1.95 | 1.98 | 1.96 | 1.95 | 1.97 | 2.01 | 2.01 | 1.93 | 1.94 | 1.96 | 1.97 |
| | 3.00 | 2.96 | 2.95 | 3.01 | 2.93 | 2.94 | 2.92 | 2.95 | 3.01 | 2.96 | 2.97 | 2.99 | 2.96 |
| | 4.50 | 4.46 | 4.42 | 4.48 | 4.47 | 4.49 | 4.45 | 4.49 | 4.52 | 4.49 | 4.55 | 4.53 | 4.49 |
| | 6.72 | 6.49 | 6.47 | 6.50 | 6.28 | 6.31 | 6.35 | 6.39 | 6.52 | 6.50 | 6.46 | 6.45 | 6.45 |

表 3 树冠穿透雨多重比较的 Q 值与标准差 S

| 处理 pH | 马尾松 | 马尾松 | 马尾松 | 马尾松 | 杉木 | 杉木 | 杉木 | 火力楠 | 火力楠 | 檫木 | 标准差 (总) |
|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|------|------|--------|--------|------------|
| | 杉木 | 火力楠 | 檫木 | 水杉 | 火力楠 | 檫木 | 水杉 | 檫木 | 水杉 | 水杉 | |
| 2.00 | 2.06 | 26.20* | 25.95 | 1.39 | 24.18* | 23.93* | 3.40 | 0.25 | 27.59* | 27.33* | 0.10 |
| 3.00 | 0.14 | 22.57* | 24.14* | 2.44 | 22.42* | 24.00* | 2.58 | 1.58 | 25.00* | 26.58* | 0.16 |
| 4.50 | 9.34* | 33.88* | 34.26* | 9.33* | 24.44* | 24.82* | 0.10 | 0.38 | 24.54* | 24.39* | 0.76 |
| 6.72 | 2.97 | 33.31* | 36.02* | 1.65 | 30.34* | 33.05* | 1.32 | 2.71 | 31.67* | 34.38* | 0.47 |

注: 查多重比较中的 Q 表, 按 $m = 5, k = 11, f = 5(11 - 1) = 50, Q_{5,50}(\alpha = 0.01) = 5.61$

查多重比较中的 S 表, 按 $m = 5, k = 11, f = 5(11 - 1) = 50, S_{5,50}(\alpha = 0.01) = 5.21$

* 表示差异显著

处理, 它们之间的差异都非常显著, 进一步说明了阔叶树的树冠对模拟酸雨的缓冲能力要比针叶树强得多。

关于酸雨通过树冠层后酸碱的化学性质变化的影响, Cronan 等研究指出, 在 pH4.06 的自然酸雨情况下, 冷杉林冠层雨水溶液的 pH 值降至 4.00, H^+ 离子浓度增加 $14 \mu eq/L$; 而通过北方硬阔叶林冠层雨水溶液的 pH 值增加到 4.23, H^+ 离子浓度减少 $27 \mu eq/L$ ^[7], 说明

了针叶林冠层促进了降水的进一步酸化, 而硬阔叶林冠层对酸雨有明显的缓冲作用, 这与我们的实验结果一致。

总的来说, 树冠的这种缓冲或中和过程可能有两种途径, 一是酸雨中的 H^+ 、N、S 等离子被树叶吸收, 它们就与叶片组织中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 等阳离子交换形成缓冲过程; 二是树叶表面淋失的弱碱性离子与酸雨中的酸性离子结合而起到中和作用^[4]。

表 4 各树种叶汁液的 pH 变化过程

| 树 种 | 喷酸过程 | 处理 pH | | | | | | 6.72 |
|-----|-----------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | | 2.00 | | 3.00 | | 4.50 | | |
| | | 测定值 | 变化值 | 测定值 | 变化值 | 测定值 | 变化值 | |
| 马尾松 | 喷酸前 | 3.85 | — | 3.85 | — | 3.86 | — | — |
| | 连续喷酸 6 天 | 3.70 | -0.15 | 3.73 | -0.12 | 3.77 | -0.09 | 3.84 |
| | 停喷酸后 13 天 | 3.81 | -0.04 | 3.83 | -0.02 | 3.84 | -0.02 | 3.86 |
| 杉 木 | 喷酸前 | 4.50 | — | 4.51 | — | 4.52 | — | — |
| | 连续喷酸 6 天 | 4.40 | -0.10 | 4.42 | -0.09 | 4.50 | -0.02 | 4.51 |
| | 停喷酸后 13 天 | 4.49 | -0.01 | 4.50 | -0.01 | 4.53 | +0.01 | 4.52 |
| 火力楠 | 喷酸前 | 5.48 | — | 5.50 | — | 5.49 | — | — |
| | 连续喷酸 6 天 | 5.43 | -0.05 | 5.45 | -0.05 | 5.46 | -0.03 | 5.50 |
| | 停喷酸后 13 天 | 5.46 | -0.02 | 5.48 | -0.02 | 5.50 | +0.01 | 5.49 |
| 檫 木 | 喷酸前 | 5.60 | — | 5.61 | — | 5.61 | — | — |
| | 连续喷酸 6 天 | 5.43 | -0.17 | 5.50 | -0.11 | 5.54 | -0.07 | 5.62 |
| | 停喷酸后 13 天 | 5.55 | -0.05 | 5.59 | -0.02 | 5.60 | -0.01 | 5.63 |
| 水 杉 | 喷酸前 | 4.50 | — | 4.51 | — | 4.52 | — | — |
| | 连续喷酸 6 天 | 4.30 | -0.20 | 4.36 | -0.15 | 4.42 | -0.10 | 4.53 |
| | 停喷酸后 13 天 | 4.41 | -0.09 | 4.46 | -0.05 | 4.50 | -0.02 | 4.55 |

注: -表示 pH 值降低的数字,+表示 pH 值升高的数字,—表示空白或没变化

表 5 不同酸度的叶汁液缓冲能力比较

| 树种 | 叶汁液 pH | 处理 pH | 测定时间(天) | | | | | | | | | |
|-----|--------|-------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| 马尾松 | 3.85 | 2.00 | 2.11 | 2.51 | 2.59 | 2.72 | 2.77 | 2.73 | 2.71 | 2.72 | 2.77 | 2.77 |
| | | 3.00 | 3.33 | 3.72 | 3.76 | 3.82 | 3.87 | 3.87 | 3.85 | 3.79 | 3.74 | 3.76 |
| | | 4.50 | 4.28 | 3.79 | 3.82 | 3.83 | 3.83 | 3.81 | 3.82 | 3.81 | 3.79 | 3.82 |
| | | 6.72 | 6.50 | 5.64 | 4.79 | 4.23 | 4.02 | 3.93 | 3.92 | 3.87 | 3.84 | 3.87 |
| 杉 木 | 4.46 | 2.00 | 2.73 | 2.93 | 3.11 | 3.33 | 3.44 | 3.50 | 3.52 | 3.52 | 3.56 | 3.60 |
| | | 3.00 | 4.48 | 4.57 | 4.44 | 4.34 | 4.26 | 4.18 | 4.16 | 4.18 | 4.14 | 4.16 |
| | | 4.50 | 4.67 | 4.55 | 4.35 | 4.30 | 4.23 | 4.12 | 4.07 | 4.07 | 4.06 | 4.05 |
| | | 6.72 | 6.40 | 5.26 | 4.76 | 4.58 | 4.52 | 4.47 | 4.42 | 4.39 | 4.35 | 4.36 |
| 火力楠 | 5.46 | 2.00 | 2.85 | 2.90 | 3.01 | 3.25 | 3.36 | 3.38 | 3.44 | 3.44 | 3.46 | 3.50 |
| | | 3.00 | 4.61 | 4.74 | 4.65 | 4.70 | 4.74 | 4.79 | 4.92 | 5.04 | 5.30 | 5.33 |
| | | 4.50 | 4.67 | 4.68 | 4.68 | 4.69 | 4.74 | 4.77 | 4.90 | 4.97 | 5.34 | 5.36 |
| | | 6.72 | 4.57 | 4.55 | 4.68 | 4.90 | 4.96 | 4.94 | 4.97 | 5.20 | 5.27 | 5.38 |
| 檫 木 | 5.60 | 2.00 | 3.05 | 3.32 | 4.00 | 4.11 | 4.08 | 4.12 | 4.07 | 4.12 | 4.13 | 4.15 |
| | | 3.00 | 5.13 | 5.27 | 5.35 | 5.50 | 5.28 | 5.25 | 5.20 | 5.29 | 5.33 | 5.32 |
| | | 4.50 | 4.97 | 5.33 | 5.10 | 5.11 | 5.19 | 5.21 | 5.25 | 5.40 | 5.48 | 5.50 |
| | | 6.72 | 5.30 | 5.40 | 5.29 | 5.42 | 5.36 | 5.44 | 5.60 | 5.64 | 5.62 | 5.60 |
| 水 杉 | 4.52 | 2.00 | 3.30 | 3.38 | 3.72 | 3.79 | 3.76 | 3.84 | 3.88 | 3.93 | 3.95 | 3.94 |
| | | 3.00 | 4.63 | 4.48 | 4.43 | 4.39 | 4.24 | 4.24 | 4.22 | 4.29 | 4.30 | 4.29 |
| | | 4.50 | 4.58 | 4.69 | 4.55 | 4.51 | 4.40 | 4.39 | 4.36 | 4.45 | 4.50 | 4.48 |
| | | 6.72 | 5.05 | 4.86 | 4.60 | 4.57 | 4.43 | 4.38 | 4.43 | 4.43 | 4.45 | 4.44 |

(二) 缓冲能力与叶汁液的关系

如表 4 所示,模拟酸雨使树叶汁液的 pH 下降,说明了树叶与酸雨间进行了离子交换作用,树叶吸收或中和了酸雨中的部分离子,而使某些树种的树冠穿透雨 pH 升高或降低。抗酸性强的树种如火力楠^[2],喷酸前后叶汁液的 pH 变化范围不大,说明了鲜树叶具有较强的中和能力。鲜树叶抗酸性中等的如马尾松、杉木及抗酸性弱的檫木、水杉^[2]等树种,喷酸前后它们的叶汁液 pH 变化幅度较大。此外,树叶汁液的 pH 可以在较短的周期内通过树木本身的调节功能而基本上恢复正常,只有 pH2.00 的处理,由于酸度较大,叶汁液 pH 恢复的时间可能要长些,如水杉、檫木、马尾松等树种。即使是这样,还是进一步说明了植物本身对酸性降水有缓冲作用。

从表 5 可看出,鲜树叶经模拟酸雨浸泡实验的 5 个树种中,其基本规律是:① 叶汁液 pH 高的树种,缓冲能力就大,即 pH 升高的幅度大。如在 pH 2.00 和 3.00 酸度较大的处理中,火力楠、檫木 2 个树种缓冲液的 pH 升高了 1.50—2.15 和 2.32—2.33 个单位,而马尾松、杉木、水杉 3 个树种的缓冲液 pH 值只升高了 0.77—1.94 和 0.76—1.29 个单位。② 叶汁液

pH 低的树种,其缓冲能力就弱,有的树种还可降低 pH 值,使酸液进一步酸化。如在 pH4.50 酸度较低的处理中,水杉、杉木、马尾松的缓冲液 pH 值降低了 0.02—0.68 个 pH 单位。③ 树叶浸泡缓冲液的 pH 变化与叶汁液的 pH 密切相关。就以 pH4.50、6.72 (对照)来说,浸泡缓冲液的 pH 值随时间的延长而升高或降低,最后基本与叶汁液的 pH 值相等。

当然,鲜树叶对模拟酸雨的缓冲能力与树冠的缓冲能力不同,因为离体的鲜树叶不包括树枝,它只能代表树叶本身的缓冲能力,而树冠的缓冲包括树枝甚至树干在内,即是在截接树冠穿透雨时,其中包括流经枝条和树干的雨水在内。

(三) 叶凋落物的缓冲作用

林内的叶凋落物可吸收大部分降雨,它在土壤表面继树冠之后形成了第二道保护层,对酸雨能起到二次缓冲、中和的作用。另外,由于叶凋落物层吸收了酸雨,这样既起到保持水土的作用,又起到缓冲酸雨的功效,从而减缓了森林土壤酸化的进程。所以,研究叶凋落物对酸雨的缓冲能力,为进一步研究森林土壤的酸化机理颇有意义。

鉴于我国目前酸雨最严重地区重庆、贵阳

表 6 不同树种叶凋落物浸泡液的缓冲速度

| 缓冲速度 | 树种 | 测定时间(天) | | | | | | | |
|------|-----|---------|------|------|------|------|------|--------|------|
| | | 2 天 | | 6 天 | | 10 天 | | 18 天以上 | |
| | | pH1 | pH2 | pH1 | pH2 | pH1 | pH2 | pH1 | pH2 |
| 快 | 火力楠 | 3.00 | 5.66 | | | | | 2.00 | 5.21 |
| | | 4.50 | 5.72 | | | | | | |
| | 水杉 | 3.00 | 5.72 | | | | | 2.00 | 5.30 |
| | | 4.50 | 5.82 | | | | | | |
| 中 | 杉木 | | | 3.00 | 5.84 | 4.50 | 5.68 | 2.00 | 3.42 |
| | 檫木 | | | 3.00 | 6.09 | 4.50 | 5.91 | 2.00 | 5.65 |
| 慢 | 马尾松 | | | | | | | 2.00 | 3.10 |
| | | | | | | | | 3.00 | 4.84 |
| | | | | | | | | 4.50 | 4.94 |

注:缓冲速度是指把 pH3.00 的模拟酸雨缓冲到 5.60 为标准

pH1: 为模拟酸雨的 pH

pH2: 为缓冲后的模拟酸雨 pH

表 7 叶凋落物浸泡 20 天后 pH 值

| 缓 冲 能 力 | 树 种 | 处理 pH | | | |
|------------|-----|-------|------|------|------|
| | | 2.00 | 3.00 | 4.50 | 6.72 |
| 强 | 樟 木 | 5.70 | 6.90 | 6.67 | 6.95 |
| | 水 杉 | 5.30 | 6.72 | 6.83 | 6.82 |
| | 杉 木 | 3.62 | 6.43 | 6.20 | 6.67 |
| | 火力楠 | 5.22 | 6.72 | 6.74 | 6.72 |
| 弱 | 马尾松 | 3.10 | 4.84 | 4.94 | 5.19 |

注：缓冲能力是指把 pH3.00 的模拟酸雨缓冲到 5.60 为标准

表 8 不同树种缓冲能力的比较

| 树种 | 处理 pH | 缓冲后的 pH 变化 | | |
|-----|-------|------------|-------|-------|
| | | 树冠穿透雨 | 鲜树叶 | 叶凋落物 |
| 马尾松 | 2.00 | -0.02 | +0.07 | +1.10 |
| | 3.00 | -0.01 | +0.76 | +1.84 |
| | 4.50 | -0.50 | -0.68 | +0.44 |
| | 6.72 | -0.34 | -2.85 | -1.53 |
| 杉 木 | 2.00 | -0.01 | +1.60 | +1.62 |
| | 3.00 | 0.00 | +1.16 | +5.43 |
| | 4.50 | -0.01 | -0.45 | +1.70 |
| | 6.72 | -0.25 | -2.36 | -0.05 |
| 火力楠 | 2.00 | +0.17 | +1.50 | +3.22 |
| | 3.00 | +0.28 | +2.33 | +3.72 |
| | 4.50 | +1.27 | +0.86 | +2.24 |
| | 6.72 | +0.60 | -1.34 | 0.00 |
| 樟 木 | 2.00 | +0.17 | +2.15 | +3.70 |
| | 3.00 | +0.30 | +2.32 | +3.90 |
| | 4.50 | +1.29 | +1.00 | +2.17 |
| | 6.72 | +0.68 | -1.12 | +0.23 |
| 水 杉 | 2.00 | -0.03 | +1.94 | +3.30 |
| | 3.00 | -0.04 | +1.29 | +3.72 |
| | 4.50 | -0.01 | -0.02 | +2.33 |
| | 6.72 | -0.29 | -2.28 | +0.10 |

两市,单场雨的雨水最低 pH 重庆达 3.35, 贵阳达 3.44。目前,通常把 pH 值 < 5.60 的天然降水称为“酸雨”^[5]。根据这一标准,我们用模拟酸雨对不同树种的叶凋落物进行浸泡实验,间接地了解它们对酸雨的缓冲能力和缓冲速度。如表 6 实验测定结果表明,火力楠、水杉 2 个树种的叶凋落物具有较快的缓冲速度,在两天内就能使 pH 3.00 的模拟酸雨升高到 5.60 以上。杉木和樟木具有中等的缓冲速度,当 pH3.00、

4.50 时需要 6—10 天。缓冲速度很慢的马尾松根本无法把 pH4.50 的模拟酸雨缓冲到 5.60。

表 7 是用模拟酸雨把叶凋落物浸泡 20 天后,其 pH 值基本稳定时测定的最终值。很明显,经实验的 5 个树种中,除马尾松外,所有树种的叶凋落物都能把 pH3.00 的模拟酸雨缓冲到 5.60 以上。有些树种,如樟木,在模拟酸雨 pH 2.00 时也能把它缓冲到 5.60 以上,说明它有较强的缓冲能力,可能是由于它的叶凋落物

为纸质以及含有较多碱性物质的缘故。如檫木、水杉两树种。即使是 pH6.72 的对照实验,其结果也升高 0.10—0.23 个 pH 单位。也可能是叶凋落物本身已不具备鲜树叶所具有的可溶性的酸性离子,如水杉、杉木、马尾松的鲜树叶及树冠对模拟酸雨 pH 值的缓冲能力就不如叶凋落物的缓冲能力大(见表 8)。

(四) 缓冲能力的比较

从表 8 中可以看出,植物本身对模拟酸雨缓冲能力的基本规律是:

1. 不同树种的比较

(1) 针叶树马尾松、杉木、水杉 pH 2.00、3.00 的处理是,叶凋落物 > 鲜树叶 > 树冠, pH 4.50 的处理是,叶凋落物 > 树冠 > 鲜树叶;

(2) 阔叶树火力楠、檫木 pH 2.00、3.00 的处理是叶凋落物 > 鲜树叶 > 树冠, pH 4.50 的处理是叶凋落物 > 树冠 > 鲜树叶。

2. 不同物质的比较

(1) 树冠: 檫木 > 火力楠 > 杉木 > 水杉 > 马尾松;

(2) 叶凋落物: 檫木 > 水杉 > 火力楠 > 杉木 > 马尾松;

(3) 鲜树叶: 檫木 > 火力楠 > 水杉 > 杉木 > 马尾松。

至于植物本身对酸雨缓冲的物理和化学变化过程这一问题还有待进一步探讨。

四、结 语

1. 不同树种的树冠对模拟酸雨的 pH 具有

不同的缓冲能力,阔叶树(常绿阔叶树火力楠和落叶阔叶树檫木)要比针叶树的树冠缓冲能力大。

2. 鲜树叶叶汁液 pH 高的树种,对模拟酸雨的缓冲能力大,树叶叶汁液 pH 低的则相反,还会使模拟酸雨的浸泡液进一步酸化。

3. 大部分树种叶凋落物的缓冲速度和缓冲能力与树叶的质地有关。树叶革质层薄的(即质地较软的)树种如水杉,其缓冲速度快,缓冲能力也强;革质层厚的则相反(如杉木和马尾松)。

4. 阔叶树叶面积的大小,与模拟酸雨的缓冲能力成正比,针叶树则相反。即针叶树的叶面积越大,而且还会使模拟酸雨有进一步酸化的趋势。如马尾松,即使是对照实验也能使模拟酸雨的 pH 值降低。因此,南方大部分马尾松林下的土壤都呈酸性,这与马尾松的针叶 pH 值低的原因也许有关。

参 考 文 献

- 1 陈楚莹,冯宗炜等. 酸雨与农业,北京:中国林业出版社,1988: 151—157
- 2 冯宗炜,张家武等. 环境科学,1988,9(5): 30
- 3 Patricia M; 陈雨莉译. 陆地生态学译报. 1984,(3): 27
- 4 曹洪发,王玮等. 酸雨与农业. 北京:中国林业出版社,1988: 146—150
- 5 张义生,张兰田. 陆地生态学译报. 1986,(1): 1
- 6 Lance S; 熊礼明译. 陆地生态学译报. 1986,(3): 48
- 7 Cronan CS et al. *Canopy processing of a acidic precipitation by coniferous and hard-wood forest in New England*, *Oecologn* (Berlin), 1983, 59:216

臭氧最新研究结果

由联合国环境规划署召集的一个科学家小组所进行的臭氧最新研究,包括这一铁证:在臭氧空洞已导致春季射至地面的紫外线强度增加一倍以上的南极,已发现浮游植物生长量下降 12%。这种微小的单细胞植物是海洋食物链的基础,这一下减少了其他海洋生物的营养来源。另外,这些科学家还首次确定紫

外线会抑制人类免疫系统,不管皮肤色素沉着如何或是否使用防晒洗液,因此,他们预测:到本世纪末,全世界非黑瘤皮肤癌的年发病数将会增加 26%,白内障将会增加 6—8%。

小康 译自 *Ecology USA*, 1991,
20(23): 221

Simulation and Analysis of Biological Stabilization Pond System. Wen Xinghua (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica, Beijing), Qian Yi, Gu Xiasheng (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084, China): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(3), 1992, pp. 2—6

An ecological model was established by the authors to simulate the general operation characteristics of the biological stabilization pond system. It was concluded that the concentrations of organic carbon as well as nitrogen and phosphorus in each stage of a multi-stage pond increase with the increase of influent concentrations and therefore it is not proper to run a multi-stage pond at too high influent concentrations; the removal rate of the pond for organic nitrogen is rather high but not for total nitrogen for the pond system has a limited ability to remove inorganic nitrogen; the responses of carbon, nitrogen and phosphorus contents in bacteria cells to the influent concentrations follow the Monod formula; the responses of carbon, nitrogen and phosphorus content in algae cells are similar. There exists an optimum nutrient concentration for algae growth. In this study the concentration is:

$C_{0i} = 72\text{Mg/L}$, $TN_i = 23.80\text{Mg/L}$, and $TP_i = 2.46\text{Mg/L}$. The elevation of algae concentration is beneficial to the removal of dissolved nutrients.

Key words: ecological model, simulation, biological stabilization pond, waste water treatment, organic carbon in waste water, nitrogen in waste water, phosphorus in waste water.

Effect of pH and Temperature on Cr(VI) Removal from Soil Solution. Chen Yingxu, Zhu Yinmei, Yuan Keneng and Zhu Zuxiang (Zhejiang Agricultural University, Hangzhou): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(3), 1992, pp. 7—10

The process of Cr(VI) removal from soil solution could be divided into two steps. The first step is a fast reaction depending mainly on the rate of Cr(VI) adsorption. The second step is a slow reaction depending mainly on the rate of Cr(VI) reduction. As the pH of soil solution increased, the rate constants, K_1 and K_2 of Cr(VI) removal by soils decreased obviously. The influence of temperature on the kinetics of Cr(VI) removal varied with various soils and was found to be quite complicated. The influence of temperature on the removal of Cr(VI) are mainly associated with Cr(VI) adsorption and reduction.

Key words: Chromium, adsorption, reduction, chromium in soil.

Preliminary Studies of the Buffering Effect of Tree Grows and Leaf Litter on Simulated Acid Rain. Deng shijian, Chen Chuying, Zhang Jiawu, Wang Silong (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(3), 1992, pp. 10—17

The studies of the buffering effect of crown, leaf litter and live leaves on acid rain were carried out with simulation methodology. The results show that buffering ability of broadleaf trees was greater than that of conifers, that tree species with higher leaf juice pH values are more capable of buffering acid rain than those with lower leaf juice pH values, and that the ability of broadleaf tree species is directly proportional to the area of leaves. As to conifers, however, the ability of tree species with larger leaf areas tends to be smaller. The order of buffering ability of different materials at pH2.00 and 3.00 was found to be: leaf litter > live leaves > crown, while at pH4.50 the order is leaf litter > crown > live leaves.

Key words: simulated acid rain, throughfall, leaf litter, leaf juices, buffering.

Study on Biodegradability of Terephthalic Acid. He Xinghai, Zhang Zhongxiang, Ma Shihao (Beijing Municipal Research Institute of Environment Protection): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(3), 1992, pp 18—25

A study on the biodegradability of terephthalic acid (TA) aiming at clarifying its biodegradation characteristics, biodegradation rate and metabolic pathways, by activated sludge was carried out. The results show that terephthalic acid can be biodegraded rapidly by microorganisms. The relationship between biodegradation rate and the concentration of TA can be fitted into Michaelis-Menten model. The biodegraded products from terephthalic acid by activated sludge were identified as m-hydroxybenzoic acid and protocatechuic acid and a metabolic pathway of terephthalic acid was accordingly proposed.

Key Words: Biodegradation of terephthalic acid, activated sludge, metabolism of terephthalic acid.

Phosphorus Release from Sediments and Its Effects on the Eutrophication of the West Lake. Han Weiming (Hangzhou Institute of Environmental Protection, Hangzhou): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(3), 1992, pp. 25—29

The sediments of the West Lake in Hangzhou, a small and shallow lake, are characterized by high organic carbon content (average 16.70%) and pretty high nitrogen content (average 0.98%). Simulation studies in the laboratory and in the field were conducted to determine the effects of various environmental parameters including pH, temperature, dissolved oxygen concentration, redox potential and the type of overlying water on phosphorus release rate and release capacity from the sediments. The lowest release capacity was observed in a pH range of 6.5—7.0 of the overlying water. At higher or lower pH values, the release could be redoubled. Raising the temperature or decreasing oxygen concentration in the overlying water also led to the increase of phosphorus release. The highest release capacity was found to be 0.368 $\mu\text{g/g}$ in the laboratory. The average release rate measured in the