



酸鹼程度的表示

酸雨可能讓森林更口渴？

適用國中自然【八下】電解質和酸鹼鹽

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

近年來，酸雨已經變成大家所熟悉的空氣污染問題，酸雨不僅對建築物、古蹟和金屬物質產生嚴重腐蝕，導致人類經濟與文化資產的損失，同時也會對整個環境及生態系造成影響。



近期美國來德大學 (Rider University) 發表一項酸雨影響森林的研究結果，這是一項在阿帕拉契山脈進行十年的實驗，從1989年開始，美國林業局每年固定三次，在一片面積34公頃的森林澆灌酸化硫酸銨肥料。

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

結果發現，以酸化硫酸銨肥料（作為模擬酸雨）澆灌的森林，與未經酸化處理的森林相比，每年吸收的水分大約多了 5%，並在兩年中增加了 10%，經過處理的流域每年平均要增加大約 1,360 萬升水。而在研究期間，他們還發現，滲透到被酸化森林土壤水裡的鈣濃度也下降了，這可能是森林耗水增加的原因之一。

這究竟是怎麼回事？酸雨對森林的影響真的這麼大嗎？帶走土壤裡的鈣和森林「口渴」的關係是什麼呢？



【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

要多～酸才可以叫做「酸雨」？

根據環保署的資料，過去各國多將 pH 值小於 5.6 的雨水界定為酸雨，那 pH 值 5.6 這個數字又是怎麼來的？事實上，pH 值 5.6 是大氣中二氧化碳含量為 330ppm 時，純水之酸鹼度的平衡值。

BUT！好像有哪裡怪怪的……

因為自然界中也有其他酸性物質會影響雨水的 pH 值，例如甲酸等其他有機酸，所以大氣中即使是未受人為污染的雨水，pH 值也會介於 4.7 至 5.3

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？



之間（也就是說，「基本款」的雨水就已經比原本的酸雨標準 pH 值 5.6 還要酸了！）。因此從 1990 年開始，許多國家及科學機構逐漸改變酸雨的定義為，pH 值小於 5.0 的雨水，目前我國也以此作為判斷標準。

而我們常說的「酸雨」其實是「酸性沉降 (acidic deposition)」的俗稱，因為除了下雨之外，還有其他形式的沉降，可以區分為「濕沉降」和「乾

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

沉降」，前者指的是空氣中氣狀或粒狀污染物隨雪、雹、雨等降水型態落至地面，而後者則是空中掉下的落塵帶來的酸性物質。

那些讓雨變酸的東東

酸雨的化學組成中，包括 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 等，來源包括自然現象及人類活動。其中硝酸鹽 NO_3^- 及硫酸鹽 SO_4^{2-} 是讓雨水變酸的「罪魁禍首」，那它們是怎麼來的呢？

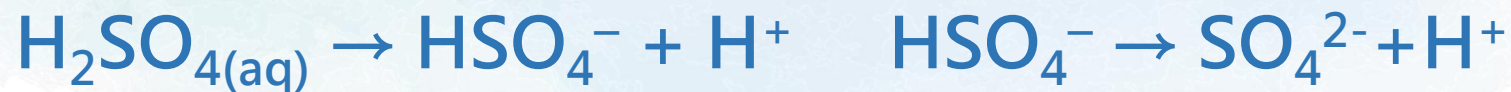
首先，工業活動或交通工具排放含有氮氧化物的廢氣，這些氮氧化物接著

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

和空氣中的氧 O_2 及水反應形成硝酸 HNO_3 ，在水中可以解離成硝酸根離子和氫離子。



而硫酸鹽 SO_4^{2-} 的形成過程長得跟硝酸鹽的很像，石化燃料及火力發電廠燃燒含硫有機物，釋放出二氧化硫 SO_2 ，接著和空氣中的氧 O_2 及水反應形成硫酸 H_2SO_4 ，硫酸在水中可以解離成硫酸根離子和氫離子，導致氫離子濃度升高。



【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

硝酸及硫酸在降雨初期就被雨水吸收，或直接隨雨滴落到地面，都會增加雨水的酸度，造成酸雨。雖然自然界中的一些現象本來就會產生酸性物質，



例如火山爆發噴出的硫化氫、高空閃電導致的氮氧化物⁵等等，但事實上，有超過 90% 的氮氧化物及硫氧化物是因人類活動排放的！

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

真相，永遠只有一個！（指）

ㄟ～那關「鈣」什麼事？

從生理的角度來看，植物需要陽離子作為訊號傳遞、調節等功能，因此，土壤中陽離子減少會導致生產力降低。而鈣便是大多數植物必需元素之一，在植物生理扮演著重要角色。



【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

其中一個作用便是水分調節，鈣像是一個負責通風報信的使者。植物的氣孔孔徑是由周圍的保衛細胞控制的，經由一連串複雜的反應調節，而這些反應共同的終點都是「鈣」進入保衛細胞。



水分不足時，通常細胞之間的鈣濃度上升時，會讓通往細胞內的鉀離子通道關閉（也就是不讓水進入），接著活化細胞通往外界的鉀離子通道，降

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

低保衛細胞的含水量，使氣孔關閉。

而這個研究的假說之一，便是鈣會從酸化處理後的森林土壤浸出，可能引起植被用水量增加，因為鈣能夠調節氣孔關閉，缺鈣可能會造成蒸散作用增加。

結果顯示，酸化處理的確改變了處理流域的鹼性陰離子交換、土壤中的陽離子浸出，以及溪流 pH 值等，滲透到酸化森林土壤中的水中鈣含量也有所下降，證明酸雨改變土壤中鈣的供應，會顯著增加植被用水量。

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

進行此研究的學者表示，自己也沒想到植物對酸化的反應會這麼劇烈。如果想了解酸雨對森林以及植物用水量的後續影響，還需要更多的研究證實。

雖然我們仍不確定，酸雨對於其他類型的森林是否會有相同的影響，不過，這項研究可以提醒我們的是，生態系統是這樣的環環相扣，我們所做的任何一個決定，都可能以我們不知道的方式在影響整個環境。

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

參考資料

1. Decades of dumping acid suggest acid rain may make trees thirstier
2. Lanning, M., Wang, L., Scanlon, T. M., Vadeboncoeur, M. A., Adams, M. B., Epstein, H. E., & Druckenbrod, D. (2019). Intensified vegetation water use under acid deposition. *Science Advances*, 5(7), eaav5168.
3. McAinsh, M. R., Brownlee, C., & Hetherington, A. M. (1997). Calcium ions as second messengers in guard cell signal transduction. *Physiologia Plantarum*, 100(1), 16-29.
4. Debnath, B., & Ahammed, G. J. (2020). Effect of Acid Rain on Plant Growth and Development: Physiological and Molecular Interventions. In *Contaminants in Agriculture* (pp. 103-114). Springer, Cham.
5. 酸雨 (acid rain)：組成和途徑

【酸鹼程度的表示】酸雨可能讓森林更「口渴」？

6. 行政院環境保護署環境資源資料庫
7. The Encyclopedia of Earth (EoE)
8. Casiday, R., & Frey, R. (1998). Acid rain. *Inorganic Reactions Experiment, Washington University*,
Word Wide Web Address: <http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/LabTutorials/Water/FreshWater/acidrain.html>.
9. McLaughlin, S. B., & Wimmer, R. (1999). Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes.
Tansley Review No. 104. *New Phytol*, 142, 373-417.