

## 三種相鄰不同林分穿落水化學性質的初期研究

劉瓊霜<sup>(1)</sup> 許博行<sup>(2)</sup>

【摘要】本試驗於惠蓀林場水源地的森林集水區內選定人工林（杉木）、次生闊葉林及天然闊葉林等三種不同林分為試驗地，長期觀測雨水流經樹冠層後的變化。初期結果顯示，此試區的林外雨（雨水）大皆屬酸性，而流經杉木人工林冠層後酸性更強，但雨水穿過次生林及天然林後，pH值皆顯著增加，顯示此二種天然林分對酸性沉降皆具有緩衝功能，但杉木人工林則不然。元素的析出在三種林分間亦顯現不同。

【關鍵詞】降水、穿落水、天然闊葉林、次生闊葉林、杉木人工林

## Preliminary Study on Throughfall Chemistry under Three Adjacent Stands

Chung - Bin Liou<sup>(1)</sup> Bor - Hung Sheu<sup>(2)</sup>

【Abstract】In this paper, we determined changes in precipitation chemistry and associated elemental fluxes under three adjacent stands (nature hardwood stand, secondary hardwood forest and China-fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation) that receive similar atmospheric loading and have similar time intervals between rain elements in Guandaushi Forest Ecosystem near the central of Taiwan. At this site, the pH of most precipitations were lower than 5.6 (acid rain level). And the acidity of throughfall passing through the canopies of China-fir stand got stronger, however, passing through the hardwood stands got

(1)臺灣省林業試驗所助理

Assistant, Taiwan Forestry Research Institute

(2)國立中興大學森林學系教授

Professor, Department of Forestry, NCHU

註：本篇報告列入「林業試驗所報告登記第78號」

weaker. These results showed that the buffering capacity in two hardwood stands were better than in China-fir stand. Elemental fluxes had significant differences among three adjacent stands.

【 key words 】 Precipitation, Throughfall, Nature hardwood stand, Secondary hardwood forest, China-fir stand

## 一、前言

生態系的養分循環包括生態系外與生態系內，生態系外之養分以溶解在降水中(濕沉降, wetfall)、乾性落塵(乾沉降, dryfall)或兩者皆有(混合沉降, bulkfall)的方式進入生態系內(Spurr and Barnes, 1980)。而生態系內養分循環則受下列三種現象所影響，即(1)降水自林冠移除養分而轉運到土壤，(2)具活性之有機體與不具活性之有機物彼此間的消長，以及(3)養分相互間之有效性(Eaton *et al.*, 1972)。其中養分自林冠移除到土壤中，首靠枝葉層的掉落、幹流(stemfall)和穿落水(throughfall)的淋溶等，因此穿落水是屬養分回歸土壤之一種方式，所謂穿落水是降水中直接穿過樹冠層及為樹冠層截留後再滴落的部分。此一過程中，不只量發生變化，更由於淋溶作用(leaching)而改變其化學組成。Attiwill(1966)曾述及穿落水養分濃度的改變受林冠的影響至鉅，這種影響因樹種、樹形、樹齡及樹體的大小等之不同而異。而林分所在的地理位置及降雨的強度和頻率等亦會影響(Comerford and White, 1977; Mahendrapa, 1989, 1990)。

Fahey等(1988)調查發現，由於林冠的蒸發作用，致穿落水的溶質濃度較降水高27%，氏等將此種增加歸因於降水對冠層的淋溶和乾降物的淋洗(wash off)，並認為淋溶或淋洗的養分在生態系中是養分循環的一主要流動途徑，尤其是K、Mg及SO<sub>4</sub>等。在多數的研究報告中皆發現降雨流經林分冠層的穿落水，均可淋溶出較高濃度的元素(Johnson, 1982; Johannes *et al.*, 1986; Ignatova, 1995)。而此些易被淋溶的元素中，Johnson等(1985)曾評估其淋溶的趨勢為K>Ca>Mg；Spurr and Barnes(1980)亦指出K是較易自植物體表面淋溶者，在一闊葉樹混生林和一天然德達松(loblolly pine)林分中，顯示K經穿落水方式回歸林地的量多於腐植層分解者。相反地，由於冠層吸收降水中之元素，因此有時會使某些元素之淨移除(net removal，穿落水加幹流水扣減降水)成為負值(Johnson, 1982)，Cappellato等(1993)亦發現大氣中的NO<sub>3</sub>和NH<sub>4</sub>幾乎一半被保留在林冠內，致穿落水之此等離子濃度低於林外雨。

關刀溪森林生態系是屬臺灣中低海拔暖帶陸生生態系，本試驗區位在一47公頃的小集水區內，此小集水區之相鄰間含蓋有杉木人工林，次生闊葉林及天然闊葉林等三種不同林分。本篇之主要目的，即在探討淋溶作用所淋溶出來之無機物濃度在不同林分間之差異，以比較雨水在此不同林分間淋溶之效應。本研究目前尚繼續進行中，本篇報告是1994年9月至1995年8月間所收集之水樣，經分析後的結果作一初步報導。

## 二、材料與方法

### (一)、樣區的設置

以關刀溪水源地集水區為試驗地，選定杉木人工林、次生闊葉林及天然闊葉林等三種不同林分為樣區。此試驗集水區位於惠蓀林場第三林班，海拔為700~1675m，年均溫21.0°C，年雨量2,685mm，平均相對濕度83%，依桑偉式之氣候分類法，屬AB<sub>2</sub>，為溫暖重濕氣候(呂等，1994)。此樣區內之人工林為杉木(*Cunninghamia lanceolata*)，而天然植群組成台灣最典型的樟櫟群叢，蘭科、茜草科、茶科及紫金牛科植物為主要之伴生種類，且本區種類之歧異度極高(呂, 1995, 未發表)。本試驗即在此三樣區內各設3處收集穿落水之集水桶，每個集水桶由3個直徑19公分之漏斗收集之。於試區附近林外亦設置3處林外雨收集桶，為常年開口容器，收集物兼容乾濕物。

### (二)、水樣的收集與分析

在每場雨後，立即收集水樣並現場測定pH值及電導度，所有水樣裝在聚乙烯瓶中，放入冰箱，送回實驗室，儘速分析水樣。水樣自冰箱內取出後，先行過濾(0.45 μm millipore filter)，再進行各種化學分析。所有陰陽離子皆採用美國ASTM(American Standard for Testing and Materials)的標準測定流程，即水樣經過保護管(guard column)，分離管(separator column)及抑制管(suppressor device)，最後以電導度偵測器(conductivity detector)偵測出不同離子(APHA, 1992; 劉及金, 1996)。本試驗是以Dionex-100離子層析儀分析之。

## 三、結果與討論

圖1及圖2為林外雨(雨水)與三種不同林分穿落水的pH值及電導度之比較，此二圖形皆以四分位數(quartiles)表示。圖1中顯示此試區的林外雨大皆屬酸性，第50%的中位數(median)為pH4.9，顯見酸雨已甚為嚴重。雨水流經杉木人工林冠層後，酸性更強，然流經次生林及天然林冠層後，則pH值皆顯著增加，顯示此二種天然林分對酸性沉降皆具有緩衝功能，但杉木人工林則不然。許多研究指出，針葉林非但不能中和酸雨，即使是非酸性雨水，一旦與針葉林分接觸，水質亦將酸化；反之，進入闊葉林(包括落葉林)的酸雨，大部分會被中和成非酸性(即pH大於5.6)(金, 1992; Cronan and Reiners, 1983; Lindberg *et al.*, 1990)。此部份原因可能是降雨經過針葉林冠層時，葉內之有機酸被淋溶出來，致使穿落水pH值降低(Fahey *et al.* 1988)。而闊葉林之所以能中和酸沉降，則大部分是因為淋洗出葉表面的鹼性堆積物及與葉肉之鹽基離子交換的結果(Schaefer and Reiners, 1990)。電導度測定值在圖2顯示林外雨最低，杉木人工林最高，次生林及天然林居中，此乃表示三種不同林分之穿落水淋溶出不同濃度的離子。

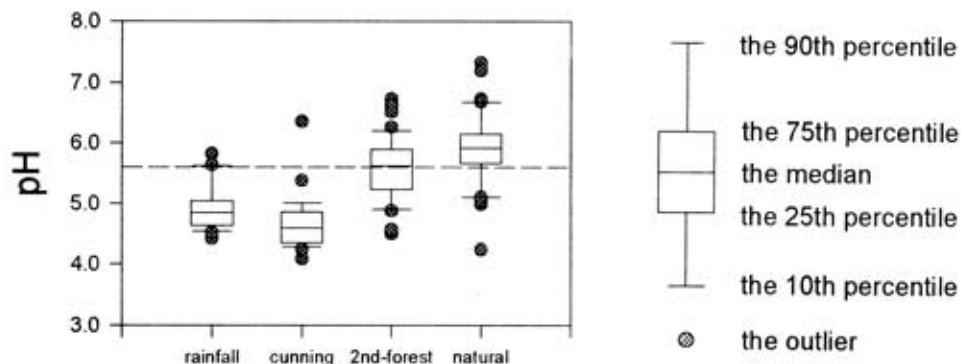


Fig 1. Comparison of pH to rainfall and throughfalls of different stands.

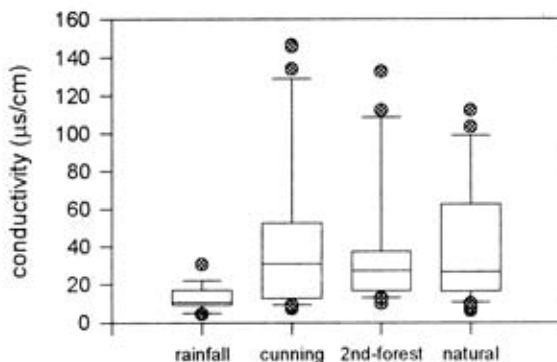


Fig 2. Comparison of conductivity to rainfall and throughfalls of different stands.

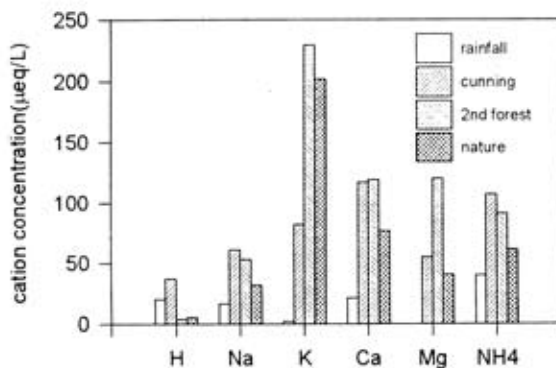


Fig 3. Cation concentration of rainfall in adjacent stands.

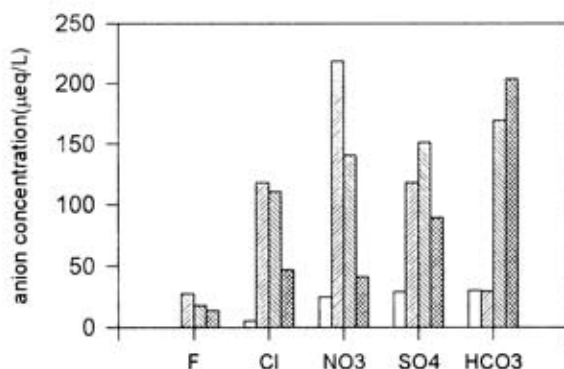


Fig 4. Anion concentration of throughfall in adjacent stands.

圖3及圖4為林外雨與三種不同林分穿落水陽離子和陰離子濃度之比較，由圖3顯示Na、K、Ca、Mg和NH<sub>4</sub>等陽離子濃度，三種穿落水皆高過於雨水。其中又以K離子上升的幅度最大，尤其是次生林及天然林，此亦符合前人的研究結果(Spurr and Barnes, 1980; Johnson *et al.*, 1985)。由於雨水流經此二種林分時，有被中和的效應，此中和效應Forster等(1989)及Turner and Tingery(1990)咸認為與伴隨鹽基離子(主要為K、Ca及Mg; Lovett and Schaefer, 1992)的淋溶有關；此種淋溶作用Johnson and Taylor(1989)認為是因為與H離子的交換結果。本試驗的結果亦可發現H離子濃度在次生林與天然林中皆甚低；此是否即因雨水流經此二種林分後，H離子已與鹽基離子產生交換，致使pH上昇的原因之一，有待更多資料以佐證之。

另一方面，由圖3中顯示，穿落水之H離子濃度在杉木林最高，林外雨次之而次生林及天然林最低，據Cappellato等(1993)研究酸性沈降與不同冠層間的關係中，發現在針葉林冠下的穿落水，其H濃度高過於落葉闊葉林約有7倍之多，且弱酸的含量亦高過於闊葉林，他們並引述Hoffman等(1980)認為當雨水穿過冠層時，弱有機酸易被因葉片角質層的氧化結果而淋洗出來，因針葉葉片一般所含角質層較厚，是否此即為杉木林之穿落水，pH低於林外雨的原因之一，亦有待更進一步探討。

雖然酸沉降通過林冠後，能藉由陽離子的交換而達到中和的目的，但酸沉降對葉的角質層或基層細胞(underlying cell)所造成的傷害，也有可能增加陰離子的淋洗量(Percy and Baker, 1988)。本試驗的初期結果皆發現林下穿落水的陰離子濃度高過於林外雨(圖4)，是否因雨水酸性太強而造成如上述的傷害，或是此些來自大氣的離子，平時沉積於冠層中，一旦下雨時，易被淋洗而出，宜再繼續探討。

大氣中之 $\text{CO}_2$  與水結合後會形成 $\text{H}_2\text{CO}_3$ ，進一步解離為 $\text{H}^+$  及 $\text{HCO}_3^-$  (如下式, Lawlor, 1993)。



當雨水經過冠層時，溶於雨水中之 $\text{H}^+$  會與陽離子交換，尤其是 $\text{K}$ 離子，而使上式反應往右進行，當 $\text{H}^+$  與林分冠層中之陽離子交換量愈多時，即可反應出該林分淋洗出陽離子的量，也能反應出該林分的部份緩衝能力。而解離後的 $\text{HCO}_3^-$  即被淋洗出來，因此由圖4中可發現 $\text{HCO}_3^-$  在闊葉次生林或天然林的穿落水中之濃度皆顯著高於雨水及人工林的穿落水。

【謝誌】：本研究蒙國科會的經費補助(NSC84-2621-B-005-005-A07, NSC85-2621-B-005-010-A07)及本群體計畫召集人陳明義教授鼓勵與國立中興大學實驗林管理處惠蓀林場之鼎力協助，謹致謝忱。

#### 四、參考文獻

- 呂金誠、李明益、歐辰雄 1994 惠蓀林場楠儲帶次生林植群生態之研究 中興大學實驗林研究報告 16(1), 1-28
- 呂金誠 1995 長期生態研究：關刀溪森林生態研究 森林植群之研究期中報告
- 金恆鑑 1992 酸性沉降物對森林影響之研究。大尺度空氣污染調查及防治策略之研究 行政院環境保護署
- 劉瓊霏、金恆鑑 1996 離子層析儀應用在水質分析的技術探討 林業叢刊 68號 臺灣省林業試驗所印行
- APHA 1992 Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public Health Association. USA
- Attiwill, P.M. 1966 The chemical composition of rainwater in relation to cycling of nutrients in mature Eucalyptus forest. Plant and Soil 24(3), 390-406.
- Cappellato, R., Peters, N.E. and Ragsdale, H.L. 1993 Acidic atmospheric deposition and canopy interactions of adjacent deciduous and coniferous forest in the Georgia Piedmont. Can. J. For. Res. 23(6), 1114-1124.
- Comerford, N.B., and White, E.H. 1977 Nutrient content of throughfall in paper birch and red pine stands in Northern Minnesota. Can. J. For. Res. 7, 556-561.
- Cronan, C.S., and Reiners, W.A. 1983 Canopy processing of acidic precipitation by coniferous and deciduous forests in New England. Oecologia 59, 216-223
- Eaton, J.S., Likens, G.E., and Bormann, F.H. 1972 Throughfall and stemflow chemistry in a Northern Hardwood forest. J. of Eco. 61(2), 495-508.

- Fahey, T.J., Yavitt, J.B., and Joyce, G. 1988 Precipitation and throughfall chemistry in *Pinus contorta* *Latifolia* ecosystem. Southeastern Wyoming. *Can. J. For. Res.* 18, 337-345.
- Foster N.W., Nicolson J.A., and Hazlett P.W. 1989 Temporal variation in nitrate and nutrient cations in drainage waters from a deciduous forest. *J. Environ. Qual.* 18, 238-244.
- Ignatova, N. 1995 Changes in crown leaching composition induced by a sudden increase in atmospheric deposition. A case study in South-Western Bulgaria. Nutrient uptake and cycling in forest ecosystem. Proceedings of the CEC/IUFRO Symposium, Halmstad, Sweden, 7-10 June, 1993 ( Edited by Huttli, R.F., Nilsson, L.O., and Johansson, U.T. ) *Plant and Soil* 1995, 168/169, 373-382.
- Johnson, D.W. 1982 The effects of acid rain on forest nutrient status. *Water Resources Res.* 18(3), 449-461.
- Johnson, D.W., Richter D.D., Lovett G.M., and Lindberg S.E. 1985 The effects of atmospheric deposition on potassium, calcium, magnesium cycling in two deciduous forests. *Can. J. For. Res.* 15, 773-782.
- Johnson, D.W., and Taylor G.E. 1989 Role of air pollution in forest decline in Eastern North America. *Water Air Soil Pollut.* 48, 21-43.
- Johannes, A.H., Chen, Y.L., Dackson, K., and Saleski, T. 1986 Modeling of throughfall chemistry and indirect measurement of dry deposition. *Water, Air and Soil Pollution* 30, 211-216.
- Lawlor, D.W. 1993 *Photosynthesis: molecular, physiological and environmental processes*. 2nd Ed. Longman Scientific Technical, pp. 235-236.
- Lindberg S.E., Bredemeier M., Schaefer D.A., Li Q. 1990 Atmospheric concentrations and deposition during the growing season in conifer forests in the United States and West Germany. *Atmos. Environ.* 24A, 2207-2220.
- Lovett, G.M., and Schaefer, D.A. 1992 Canopy Interactions of Ca, Mg, K In: *Atmospheric Deposition and Forest Nutrient Cycling*. Edited by W.D. Billings, F. Golley, O.L. Lange, J.S. Olson, H. Remmert. Springer-Verlag, pp. 253-275.
- Mahendrappa, M.K. 1989 Impacts of forests on water chemistry. *Water Air Soil Pollut.* 46, 61-72.
- Mahendrappa, M.K. 1990 Partitioning of rainwater and chemicals into throughfall and stemflow in different forest stands. *For. Ecol. Manage.* 30, 65-72.
- Percy, K.E. and Baker, E.A. 1988 Effects of simulated acid rain on leaf wettability, rain retention and uptake of some inorganic ions. *New Phytol.* 108, 75

- Schaefer, D.A. and Reiners, W.A. 1990 Throughfall chemistry and canopy processing mechanisms. In: *Advances in Environmental Science*, Vol. 3. Acid Precipitation: Sources, Deposition, and Canopy Interactions. Springer-Verlag, pp. 241-284.
- Spurr, S.H., and Barnes, B.V. 1980 *Forest ecology*. 3rd ed. John Wiley & Sons, New York. pp. 211-250.
- Turne, D.P. and Tingey, D.T. 1990 Foliar leaching and root uptake of Ca, Mg, and K in relation to acid fog effects on Douglas-fir. *Water Air Soil Pollut.* 49, 205-214.