

人工酸性雨が 소나무와 잣나무幼苗의 葉綠素 含量에 미치는 影響

李 敦 求 · 金 甲 泰 · 辛 俊 煥 · 朱 洸 奭

(서울대학교 農科大學 林學科)

Effects of Artificial Acid Rain on the Needle Chlorophyll Contents of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* Seedlings

Don Koo Lee · Gab Tae Kim · Joon Hwan Shin · Kwang Yeong Joo

(Dept. of Forestry, Coll. of Agric., Seoul Nat'l Univ.)

Summary

The study was made to examine the effects of artificial acid rain on needle chlorophyll contents of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* seedlings.

Three-year-old seedlings of *P. densiflora* and *P. koraiensis* were transplanted into plastic pots filling with mixed soil (perlite : vermiculite : sand 1 : 1 : 1 v/v) in early-October, 1983, and grown in a vinyl-house at the Forestry nursery in Suweon. Seedlings were treated every three days with 20ml of artificial acid water containing pH values of 2.0 and 4.0 from February 10 to March 24, 1984. As control, 20ml of tap water was also treated at the same time.

Needle chlorophyll contents of the two species decreased with increasing acidities. Needle chlorophyll contents of the control plants did not change. The ratios of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* in both species decreased gradually with increasing acidities.

緒 論

大氣汚染으로 인한 酸性雨 現象은 世界的인 問題로 擴散되어가고 있는데, 특히 石造 및 金屬制 構造物에 對한 被害, 森林生態系에서 種의 單純化와 生長減少, 陸水生態系에서의 單純化 및 生産力 減少 등의 障礙를 일으키며 人間 生活에 大氣汚染과 더불어 커다란 問題로 擡頭되고 있다고 Cowling 및 Dochinger(1978), Dochinger 및 Seliga(1975), Irving(1983), Likens 및 Bormann(1974), Lee 및 Weber(1982) 등은 보고하였다. 最近 우리나라에서도 酸性雨 問題가 擡頭되고 있어 이에 關한 研究가 崔等(1980), 金等(1982)에 의하여 始作되고 있는 實情이다.

Douglas-fir를 비롯한 11개 樹種을 對象으로 人工酸

性雨의 影響을 試驗한 Lee와 Weber(1979)는 樹種에 따른 差異는 있으나 pH가 낮을수록(pH 3.0까지) 대체로 發芽率과 乾物生産이 좋았는데, 이것은 酸性雨が 種皮를 弱하게 하고, 無機養料로 作用한 때문일 것이라 推測하였다.

Heagle등(1983)은 콩에서 類似한 傾向의 結果를 얻었으며, 土壤中の 陽 ion 交換能 및 K, Ca, Mg의 含量이 pH가 낮아짐에 따라 떨어진다고 報告하였다. 또한 Ferenbaugh(1976)는 *Phaseolus vulgaris*에서 낮은 pH(3.0)에서 苗高生長이 억제되고, 잎에 可視的 被害가 나타나며, 炭水化合物의 量과 뿌리의 量이 줄어들며, 細胞液의 pH가 4.0까지 떨어졌다고 報告한 바 있다.

또한 Ziegler(1973)는 *Zea mays*에서 sulphite가 PEP carboxylase의 活性을 경쟁적으로 억제하며 malate 生産에도 影響을 미친다고 보고했으며, 植物體의 mito-

chondria에서 ATP 合成을 방해한다는 Ballantyne (1973)의 보고와, 生長에 關聯된 여러가지 生理的 變化 卽, 葉綠素 含量, 呼吸率 및 光合成率 등에 크게 영향을 미친다는 Ferenbaugh(1976), Irving(1983)의 報告가 있다.

酸性雨에 의한 土壤의 理, 化學的 變化는 主要 無機 陽 ion의 溶脫, 土壤酸度的 增加로 因한 環境變化 및 富營養化 등으로 Cronan 및 Schofield(1979), Singh 등(1980), Ulrich 등(1980)에 의하여 報告된 바 있다.

酸性雨가 森林生態 및 個體木에 미치는 影響은 酸性 雨의 酸度, 處理期間, 土壤條件, 樹種 및 樹令, 氣象 因子, 環境調節의 程度 等等에 따라 서로 相異한 反應을 보이고 있어 一般的이고 客觀性을 지닌 結論을 내리기가 무척 힘든 實情이다. 本 研究는 우리나라의 代表的 針葉樹種인 소나무와 잣나무苗木을 對象으로 人工酸性水의 酸度別 處理로, 生長에 關聯되며 生理的 活性도를 間接的으로 알 수 있는 葉綠素 含量의 變化를 比較하는 것이다.

材料 및 方法

1. 材 料

本試驗에 使用된 材料는 서울大學校 農科大學 苗圃場에서 養育한 3年生 소나무(*Pinus densiflora*)와 林木 育種研究所에서 養育한 3年生 잣나무(*Pinus koraiensis*, 京畿45號) 各各 12個體씩이며, 1983年 10月 初旬에 混合土壤(perlite : vermiculite : sand 1 : 1 : 1 v/v)을 채운 plastic pot에 移植시켜 苗圃場에 있는 vinyl-house에서 充分히 活着시킨 후 試驗材料로 使用하였다.

2. 處理 및 測定方法

1) 人工酸性水 處理

Plastic pot에 移植시켜 vinyl-house에서 充分히 活着시킨 후 1984年 2月 10일부터 3月 24日까지 每 3日에 1回씩 sulfuric acid를 混入한 人工酸性水(pH 2.0 및 pH 4.0)와 水돛물(對照區, pH 6.4)을 물뿌리개로 20ml씩 뿌렸으며 灌水, 施肥, 또는 vinyl-house內的 다른 環境調節은 行하지 않았다.

2) 針葉의 葉綠素 含量 測定

1年生 針葉 0.5g(生重)을 80% acetone 20ml에 넣고 少量의 CaCO₃을 加하고 7日 以上 冷暗所에 보관하여 色素를 抽出한 後, UV-Visible Spectrophotometer를 利用하여 645nm와 663nm에서의 吸光度(absorbance)를 測定하였으며 金과 李(1983)의 方法으로 葉綠素 含

量을 定量하였다.

各 處理當 測定은 3個體씩 3反復이며 그들의 平均値와 標準偏差를 求하였다.

結果 및 考察

樹種別, 處理別 針葉의 葉綠素(chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll) 含量의 平均値가 測定時期別로 Table 1에 보이며 總葉綠素 含量의 時期別 變化는 Fig. 1에 보인다. 잣나무가 소나무에 비해서 모든 處理 및 時期에서 總葉綠素 含量이 약간 높았으며 소나무의 總葉綠素 含量은 成¹⁰⁾(1984)이 소나무 針葉에서 葉綠素 含量의 여름철 測定値를 구한 값에 比하면 적은 量으로 나타났다.

두 樹種 모두 人工酸性水와 水돛물을 處理한 후 1次 測定時(2月 22日)에서는 處理前(2月 9日)에 比하여 總葉綠素 含量이 約 2倍로 增加하였다가 계속 處理한 後인 2次 測定(3月 10日) 및 3次 測定時(3月 24日)에서는 pH가 낮을수록 總葉綠素 含量이 減少했으며, 對照區에서는 큰 變化가 없었다.

葉綠素 含量比(chlorophyll a 對 chlorophyll b)에 있어서는 두 樹種 모두 處理前(2月 9日)이 가장 높았으며 處理後 점차 낮아지는 傾向을 보였다(Figure 2). 葉綠素는 光 energy를 植物體에 받아들이는 重要한

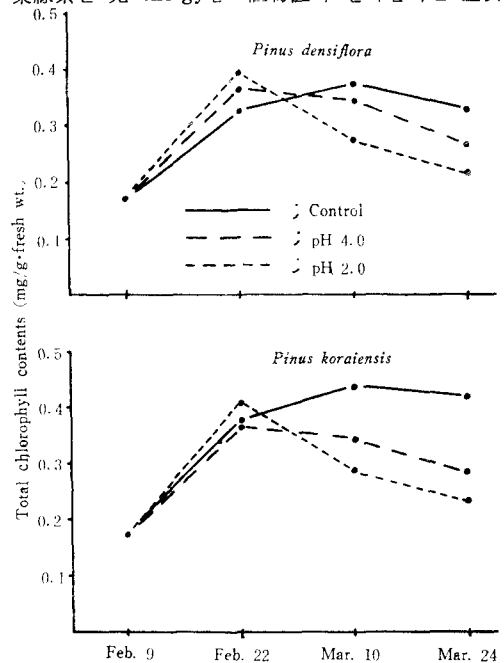


Fig. 1. Changes in total needle chlorophyll contents of *Pinus densiflora* and *P. koraiensis* seedlings following artificial acid rain treatment

Table 1. Needle chlorophyll (total chlorophyll, total chl.; chlorophyll *a*, chl. *a*; chlorophyll *b*, chl. *b*) contents (mg. g⁻¹ fresh wt.) of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* seedlings following artificial acid rain treatment

Species	Treatment	February 9			February 22		
		Chl. <i>a</i>	Chl. <i>b</i>	Total Chl.	Chl. <i>a</i>	Chl. <i>b</i>	Total Chl.
<i>Pinus densiflora</i>	Control	.133	.037	.170±.008	.205	.129	.334±.017
	pH 4.0	—*	—	—	.265	.100	.365±.005
	pH 2.0	—	—	—	.285	.112	.397±.061
<i>Pinus koraiensis</i>	Control	.139	.033	.172±.044	.295	.082	.377±.037
	pH 4.0	—	—	—	.295	.073	.368±.018
	pH 2.0	—	—	—	.314	.094	.408±.051

Species	Treatment	March 10			March 24		
		Chl. <i>a</i>	Chl. <i>b</i>	Total Chl.	Chl. <i>a</i>	Chl. <i>b</i>	Total Chl.
<i>Pinus densiflora</i>	Control	.274	.098	.372±.012	.180	.146	.326±.065
	pH 4.0	.257	.088	.345±.031	.160	.102	.262±0.49
	pH 2.0	.181	.091	.272±.031	.124	.093	.217±.069
<i>Pinus koraiensis</i>	Control	.328	.111	.439±.065	.221	.194	.415±.068
	pH 4.0	.265	.075	.340±.060	.187	.094	.281±.043
	pH 2.0	.207	.081	.288±.037	.160	.070	.230±.016

* No data available

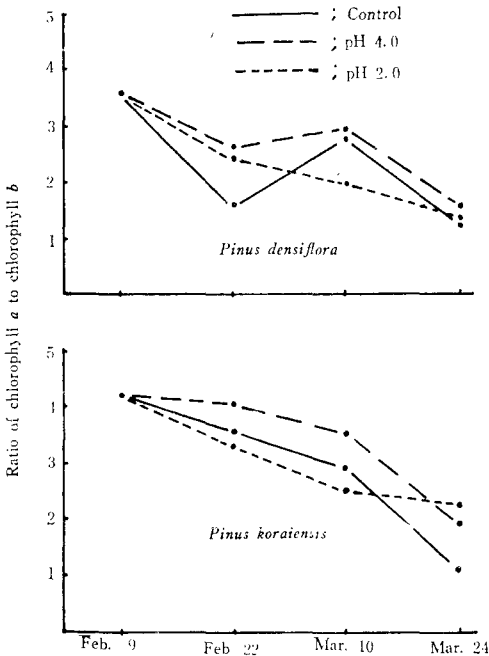


Fig. 2. Changes in the ratio of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* for *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* seedlings following artificial acid rain treatment.

役割을 하며 光合成能力과도 關聯(Cowling 및 Dochinger, 1978)되어 있으며, 生理的 活性度로서 利用되기도 한다. 本 實驗에서 處理後 1次 測定에서 높은 葉綠素 含量을 보인것은 뿌리 活着을 爲해서 vinyl-house 에 오랫동안 灌水없이 두었다가 人工酸性水 또는 수돗물을 處理하므로써 그만큼 葉의 生理的 活性이 增加했음을 나타내고 있으며, 또 계속 酸性水を 處理하므로써 pH가 낮을수록 葉의 生理的 活性이 減少되었으며 對照區에서는 活性이 均一하게 維持되고 있었다. 이러한 pH別 葉綠素含量은 Evans等 (1977), Ferenbaugh (1976)가 *Phaseolus vulgaris*에서 觀察한 pH 3.0에서 對照區보다 오히려 높은 값을 보여 本 研究결과와는 달랐는데 이것은 植物種의 相異, 測定時期, 酸性雨 處理方法 및 酸度의 差에 起因한 것으로 생각된다. 또 本 試驗結果가 成(1984)과 Ferenbaugh(1976)의 研究에서 報告한 總葉綠素含量과 서로 差異가 나타나는 것은, 本 試驗이 vinyl-house內에서 遂行되었다고는 하나 生理的 活性이 억제된 겨울철 동안에 이루어졌기 때문인 것으로 생각된다.

葉綠素 含量 比에서는 處理前에는 成(1984)의 結果와 비슷한 3.59와 4.21의 값을 보였다가, 處理가 계속 進行됨에 따라 점차 減少하는 傾向을 보였다. 이것은

處理가 進行됨에 따라, 對照區의 境遇에는 葉綠素 b의 含量이 계속 增加하였고 處理區에 있어서는 葉綠素 a의 含量이 減少한 結果이며 그 理由는 明確하게 알 수 없었다. 成(1984)의 結果에 依하면 소나무가 가장 活潑히 生長하는 7, 8, 9月の 境遇, 葉綠素 a의 含量이 크게 增加하여 葉綠素 含量比가 3.0~4.0의 값을 나타내었다. 環境變化에 따른 葉綠素 含量의 變化는 葉綠素 b의 含量變化라기보다는 葉綠素 a의 含量變化에 起因하는 것으로 보인다.

本 試驗의 結果로 보아, 1次 測定時(2月 22日)까지의 20mm씩의 4회에 걸친 人工酸性水 處理는 두 樹種에 모두 生理的 障礙를 일으키기 보다는 生理的 活動을 促進시키는 것으로 作用하였으나, 그 以後부터는 酸性水 處理가 生理的 障礙를 일으키는 것으로 나타났는데 그 時期는 pH 2.0의 處理區가 pH 4.0의 處理區 보다 빨리 나타났다고 생각된다. 또한 人工酸性水 處理는 特別히 葉綠素 a의 含量을 減少시키는 것으로 보였다.

結 論

3年生 소나무와 3年生 잣나무를 1983年 10月初旬에 混合土壤을 채운 plastic pot에 移植시켜, 充分히 活着시킨후 1984年 2月 10일부터 3月 24日까지 黃酸을 沓게 만든 人工酸性水(pH 4.0~ pH 2.0)와 對照區로 수돗물을 3일에 1회씩 처리하면서 葉綠素 含量을 測定한 結果, 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 人工酸性水의 pH가 낮을수록, 그리고 處理가 進行될수록 針葉의 葉綠素 總含量은 減少했으며 수돗물을 處理한 對照區에서는 거의 一定한 값을 維持하였다.

2. 人工酸性水의 處理가 進行됨에 따라 葉綠素 含量이 減少하는 程度는 葉綠素 a의 含量이 葉綠素 b의 含量에 比해서 크게 나타났다.

3. 酸性水의 處理期間, 處理時期, 酸度, 土壤條件 등의 外部 環境要因과 植物體內的 內的要因에 따라 酸性水가 植物의 生理的 活性을 促進시킬 수도 있을 것으로 보인다.

引 用 文 獻

1. Ballantyne, D.J. (1973). Sulphite inhibition ATP formation in plant mitochondria. *Phytochemistry* 12: 1207-1209.
2. Binns, W.O., and D.B. Redfern. (1982). Acid rain forest decline in W. Germany. *Forestry Commission Research and Development Paper*

131. 13pp.
3. Cowling, E.B., and L.S. Dochinger. (1938). The changing chemistry of precipitation and its effects on vegetation and materials. *AICHE Symposium Series* 74(175): 134-142.
4. Cronan, C.L., and C.L. Schofield. (1979). Aluminum leaching response to acid precipitation; Effects on high elevation watersheds in the Northeast. *Sci.* 204:304-305.
5. Dochinger, L.S., and T.B. Seliga. (1975). Acid precipitation and the forest ecosystem. *APCA Journal* 25(11): 1103-1106.
6. Evans, L.S., N.F. Gmar, and F. Da Costa. (1977). Leaf surface and histological perturbations of leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Helianthus annuus* after exposure to simulated acid rain. *Am. J. Bot.* 64(7): 903-913.
7. Ferenbaugh, R.W. (1976). Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). *Am. J. Bot.* 63(3): 283-288.
8. Heagle, A.S., R.B. Philceck, P.F. Brewer, and R.E. Ferrell. (1983). Response of soybeans to simulated acid rain in the field. *J. Environ. Qual.* 12(4): 538-543.
9. Irving, P.M. (1983). Acidic precipitation effects on crops; A review and analysis of research. *J. Environ. Qual.* 12(4): 442-453.
10. Lee, J.J., and D.E. Weber. (1982). Effects of sulfuric acid on major cation and sulfate concentrations of water percolating through two model hardwood forests. *J. Environ. Qual.* 11(1): 57-64.
11. Lee, J.J., and D.E. Weber. (1979). The effect of simulated acid rain on seedling emergence and growth of eleven woody species. *Forest Sci.* 25 (3):393-398.
12. Likens, G.E., and F.H. Bormann. (1974). Acid rain: A serious regional environmental problem. *Sci.* 184: 1176-1179.
13. Singh, B.R., G. Abrahamssen, and A. Stuanes. (1980). Effect of simulated acid rain on sulfate movement in acid forest soils. *Soil Sci. Am. J.* 44:75-80.
14. Ulrich, B., R. Mayer, and P.K. Khanna. (1980). Chemical changes due to acid precipitation in a

- Loess-derived soil in central Europe. *Soil Sci.* 130(4): 193-199.
15. Ziegler, I. (1973). Effect of sulphite on phosphoenolpyruvate carboxylase and malate formation in extracts of *Zea mays*. *Phytochemistry* 12: 1027-1030.
16. 金甲泰, 李敦求. (1983) 몇 生理的 特性을 利用한 第一代 雜種 포플러, *Populus alba* × *Populus glandulosa* F₁의 優良클론 選拔에 關한 研究. *韓林誌* 59:15-30.
17. 金泰旭, 李景宰, 朴仁協. (1982) 工團地域의 綠地造成 및 回復에 關한 研究. 國立環境研究所 研究報告書. 64pp.
18. 崔德一, 韓義正, 林根相, 金黃洙. (1980) 降水物 成分變化에 依한 大氣汚染度의 間接測定 및 評價에 關한 研究. 國立環境 研究所報 2:59-61.
19. 成周翰. (1984) 솔잎혹파리 侵害에 따른 感受性 樹種인 소나무와 抵抗性 樹種인 리기다 소나무에 있어서 光合成 및 葉의 色素變異에 關한 研究. 서울大學校 碩士學位論文 36pp.