

人工酸性비 處理에 대한 은행나무와 곰솔의 生長反應

金明蘭·蘇維永*

全北大學校 自然科學大學 生物學科

은행나무와 곰솔의 유식물의 산성비에 대한 생장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 pH 5.6을 대조구로 하여 pH 4.0, 3.2와 2.4의 인공산성비를 3개월간 처리하여 성장량, 엽록소 함량과 탄수화물의 함량을 조사하였다. 은행나무와 곰솔의 유식물은 pH 2.4에서 생장이 가장 억제되었으며 반면에 pH 3.2에서는 생장이 촉진되었다. 전체적인 성장량은 뿌리에 비해 지상부의 성장에서 산성비의 영향을 더 받았다. 엽록소 함량은 산성비의 산도에 따라 중요한 차이가 없었으며 은행나무 잎의 탄수화물의 함량은 포도당과 설탕의 함량이 pH 4.0에서 가장 낮았고 전분의 함량은 pH 3.2에서 가장 낮았다.

주요어: 인공산성비, 성장반응, 엽록소 및 탄수화물 함량, 은행나무, 곰솔

산성비가 생태계를 파괴시킴으로써 최근 환경문제의 중요한 과제로 떠올랐으며 그 영향은 날로 심각해지고 있다. 식물에 미치는 산성비의 피해는 잎의 큐티클층에 손상을 입힘으로써 표피에 피해를 주고 잎으로부터 칼슘, 마그네슘, 칼륨 등과 같은 잎 성분을 용탈시켜서 피사를 일으키며 엽록체의 구조 변화와 엽록소의 상실로 황화현상을 일으켜 결국 광합성 능력이 감소되므로써 식물의 산성은 감소된다. 또한 엽육조직 세포의 붕괴로 조직의 비정상적인 구조를 야기시키는 것으로 보고되고 있다(Sheridan and Rosentreter, 1973; Whittaker *et al.*, 1974; Wood and Bormann, 1974, 1975; Fairfax and Lepp, 1975; Hindawi *et al.*, 1980; Kelly and Strickland, 1986).

한편 여러 가지 목본식물의 유식물에서 인공산성비에 의한 생장이 촉진 또는 억제되는 상반된 경쟁 효과가 보고된 바 있다. 미송(Lee and Weber, 1979), 스트로부스 소나무(Wood and Bormann, 1977) 및 소나무와 개나리(정, 1987)에서 산성비의 산성도 값이 낮아짐에 따라 생장이 촉진된 반면 yellow birch(Wood and Bormann, 1974)와 몇 가지 송백류의 유식물(Percy, 1986; Kim, 1991)에서는 생장이 억제되었다. 또한 산성비의 산도에 따라라도 식물의 반응은 보다 복잡하다. 잎의 황화현상이나 피사를 보인 낮은 pH에서도 스트로부스 소나무, 당단풍, 콩 등의 생장은 촉진되거나(Wood and Bormann, 1977; Irving and Miller, 1980; Lee *et al.*, 1981; Raynal *et al.*, 1982) 중간 산도의 pH(3.0-4.0)에서 강남콩, yellow birch의 생장은 감소(Ferenbaugh, 1976; Hindawi *et al.*, 1980) 또는 강남콩, jack

pine의 생장은 영향을 받지 않았다(Wood and Bormann, 1974; Ferenbaugh, 1976; Abouguendia and Baschak, 1987). 또한 11종의 목본식물의 성장 반응은 산성비의 pH에 따라 종에 따른 다양한 반응을 나타내었다(Lee and Weber, 1979). 이와 같이 식물의 성장반응은 식물종에 따라 상이한 결과를 보인다.

유식물의 성장에서 산성비에 의한 성장촉진 또는 억제되는 상반된 결과에 대해 산성비에 의해 식물의 생장이 촉진되는 것은 잎이나 비옥한 토양을 통해 황산염이나 질산염같은 영양원이 흡수됨으로써 일어난 것이라는 보고가 있으며(Wood and Bormann, 1977; Abrahamsen, 1980; Ogner, 1980; Shriner, 1982) S가 결핍된 토양에서 자라는 식물들은 산성비를 포함하여 대기 중의 S로부터 S의 대부분을 얻게 될 것임을 제시하였다(Brady, 1974). 비옥도가 낮은 토양수준에서 pH 3.0의 인공산성비를 처리했을 때 유식물의 생장이 촉진되는 것은 역시 토양의 영양 공급 능력에 의존될 수 있을 것이라고 하였다(Raynal *et al.*, 1982).

그러나 토양에만 산성비를 처리했을 때 산성비의 산도가 식물생장에 중요한 영향을 주지 않는다는 사실이 보고되었다(Johnston *et al.*, 1982). 따라서 유식물의 성장반응에서 나타나는 차이는 토양의 양이온과 음이온의 농도차나 토양상태의 변화에 따른 차이이기 보다는 잎에서의 직접적인 영향일 것이다(Johnson and Cole, 1977; Reuss, 1978; Johnston *et al.*, 1982).

성장기간이 긴 임목의 고사현상 및 성장 감소의 주된 원인이 산성비라고 여러 학자들이 보고한 바 있다(Puckett, 1982; Binns and Redfern, 1983; Zedaker, 1988). 산성비의 산도와 빗

*교신저자: Fax (0652) 70-3315

물이 접촉하는 잎의 면적은 식물의 피해에 영향을 줄 것이기 때문에(Evans, 1982) 산성비에 의한 식물의 비가시적인 피해는 생리화학적 변화나 생산성의 감소로 나타날 것이다.

따라서 본 실험은 산성비의 피해와 감수성의 차이를 이해하기 위하여 대기오염에 저항성이 강한 식물로 알려져 있는 낙엽성 수목인 은행나무와 비교적 감수성이 민감한 침엽수종인 곰솔의 유식물의 산성비 처리에 대한 성장 반응을 밝히고자 시도되었다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 사용된 재료는 은행나무(*Ginkgo biloba* L.)와 곰솔(*Pinus thunbergii* P.)의 유식물로서 은행나무의 종자는 흐르는 물에서 2시간 침적시킨 후 모래에 묻어 종피의 개갑을 유도한 후 유근의 길이가 1 mm 정도되는 종자만을 선별하여 수세한 모래를 채운 plastic pot(40×24.5×16 cm)에 이식하였다. 곰솔의 종자도 은행나무와 같이 24시간 침적시킨 후 선별한 종자를 모래에 파종하였다. 각 처리구당 2개씩의 pot를 배치하고 각 pot당 은행나무는 20개씩의 종자를 곰솔의 경우 100-120개의 종자를 파종하였다. 그리고 1992년 3월부터 1992년 6월까지 3개월간 온실에서 재배하였으며 종자의 발아는 이식 후 10일 후부터 시작되었다. 이식한 식물들은 키와 일반적인 모양이 균일한 것을 기초로 하여 임의적으로 각 처리구로 삼았다.

인공산성비 처리

인공산성비의 성분은 1 N 황산(H_2SO_4)과 질산(HNO_3)을 3:1 (v/v)의 비율로 혼합하여 지하수로 조제하였다. 인공산성비의 pH는 지하수(pH 6.3)로 희석하여 Fisher pH meter로 pH 2.4, 3.2, 4.0 그리고 5.6으로 조정하였으며 pH 5.6을 오염되지 않은 자연 강우인 대조구로 하였다. 인공산성비의 처리는 발아된지 1주일 후부터 1992년 3월부터 6월까지 플라스틱 분무기로 250 mL/pot을 3회/주, 5분씩 분무해 주었다.

생장량 측정

은행나무와 곰솔 모두 산성비 처리가 끝난 후 생중량, 건중량, 잎의 길이, 뿌리의 길이를 측정하고 측근의 수를 조사하였다. 유식물의 전체 건중량과 잎, 줄기 뿌리의 부위별 총 건중량은 60°C에서 24시간 동안 건조시켜 각 개체를 측정하였으며 잎의 표면적은 은행나무 한 수종만 측정하였다. 각

개체당 측정은 5개체씩 두 번 반복하였다. 잎의 표면적은 다음 등식(Constantinidou and Kozlowski, 1979)을 사용하여 계산하였다.

$$A = 0.1981 + 0.5674(L) \times (W)$$

A: 잎의 표면적, L: 잎의 길이, W: 잎의 폭

Top/Root을

산성비 처리가 끝난 후 유식물을 채취하여 수도물로 모래를 제거한 후 증류수로 수 차례 수세한 다음 생중량을 이용하여 지상부의 중량을 지하부의 중량으로 나누어 측정하였다.

엽록소 함량 측정

엽록소 추출은 Hiscox와 Israelstam(1979)의 방법에 의한 것으로 7 mL DMSO가 들어있는 vial에 100 mg 잎절편을 넣고 65°C에서 6시간 동안 처리한 다음 추출액을 시험관에 옮겨 전체 부피가 10 mL되도록 DMSO로 맞춘다. 엽록소 추출액 3.0 mL를 cuvette에 옮겨 O.D. 645 nm와 663 nm에서 UV-visible spectrophotometer로 흡광도를 측정하였으며 Arnon(1949)의 등식에 의해 엽록소 a, 엽록소 b, 및 엽록소 총합량을 계산하였다. 각 처리구당 측정은 3개체씩 세 번 반복하였다.

탄수화물 함량

시료액의 제조는 잎조직 0.5 g을 0.1 M Tris-malate(pH 7.2)와 함께 0°C의 유발에서 마쇄하였다. 마쇄액을 10,000 g에서 20분간 원심분리하고 상정액과 insoluble fraction을 시료로 사용하였다. 각 추출물에 대한 분석은 3 반복하였다. 포도당은 Bergmeyer(1982)의 방법으로 결정하였고 설탕은 Tarpley and Choinski(1986) 방법에 의하여 glucose oxidase와 peroxidase(Waco)를 사용하여 invertase에 의해 가수분해되어 생성된 포도당을 사용하였다. 녹말은 Schaffer 등(1985)의 방법에 의해 수용성 당을 추출한 나머지를 가열시켜 얻은 혼합물을 amyloglucosidase(Sigma)를 처리한 후 전분의 분해로 생성된 포도당 함량으로써 측정하였다.

통계처리

분산분석은 SAS(SAS Institute In. C.)를 이용하여 Duncan의 다중분산 분석을 하였다.

Table 1. The effect of simulated acid rain on seedling height (cm) of *Ginkgo biloba* and *Pinus thunbergii*

Species	pH	Duration (week)		
		4	8	12
<i>Ginkgo biloba</i>	2.4	7.1	10.2	11.5
	3.2	9.2	10.3	13.3
	4.0	8.7	9.2	10.7
	5.6	9.5	11.0	13.3
	F-value	9.03 ^b	2.81 ^a	1.11
<i>Pinus thunbergii</i>	2.4	3.3	3.7	3.8
	3.2	3.3	3.3	5.2
	4.0	3.0	3.4	5.0
	5.6	4.7	5.3	6.5
	F-value	9.07 ^b	19.10 ^a	37.6 ^b

^aSignificances at 5% levels, ^bSignificances at 1% levels. Differences in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan's multiple range test.

Table 2. Growth of *Ginkgo biloba* and *Pinus thunbergii* seedling treated with simulated acid rain for 12 weeks

Species	pH	Leaf area	Leaf length	Stem length	Root length	No. of lateral root
		(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm)	root
<i>Ginkgo biloba</i>	2.4	8.20	3.7	11.5	6.0	20.0
	3.2	8.65	4.0	13.3	9.9	24.0
	4.0	7.78	3.8	10.7	9.9	22.4
	5.6	10.83	4.5	13.3	12.7	19.8
	F-value	5.09 ^a	2.62	1.11	5.78 ^b	2.84
<i>Pinus thunbergii</i>	2.4		2.7	3.8	13.2	21.5
	3.2		3.4	5.2	6.7	22.0
	4.0		3.1	5.0	6.4	20.8
	5.6		3.4	6.5	7.5	23.5
	F-value	5.29 ^b	37.6 ^b	27.21 ^b	0.34	

^aSignificances at 5% levels, ^bSignificances at 1% levels. Differences in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan's multiple range test.

Table 3. Fresh and dry weight of *Ginkgo biloba* and *Pinus thunbergii* seedlings treated with simulated acid rain for 12 weeks

Species	pH	Fresh weight (g)				Dry weight (g)				T/R
		Leaf	Stem	Root	Total	Leaf	Stem	Root	Total	
<i>Ginkgo biloba</i>	2.4	0.575	0.468	0.876	1.919	0.149	0.158	0.205	0.512	1.16
	3.2	0.685	0.493	1.082	2.260	0.208	0.172	0.225	0.605	0.87
	4.0	0.678	0.455	1.275	2.411	0.178	0.158	0.255	0.591	1.30
	5.6	0.718	0.583	1.193	2.494	0.222	0.183	0.235	0.640	1.28
<i>Pinus thunbergii</i>	2.4		0.178	0.096	0.274		0.060	0.029	0.090	1.86
	3.2		0.199	0.135	0.336		0.080	0.033	0.112	1.58
	4.0		0.180	0.120	0.302		0.091	0.027	0.118	1.73
	5.6		0.240	0.120	0.360		0.078	0.039	0.116	2.05

결 과

생장량 측정

은행나무와 곰솔의 유식물의 평균키는 초기 생장에는 두 종이 다같이 억제되는 경향이나 생장이 진행됨에 따라 유의성이 없었다(Table 1). 은행나무는 pH 3.2에서 대조구인 pH 5.6에서와 비슷한 생장을 보였으나 곰솔의 경우는 생장이 진행됨에 따라서 pH 2.4에서 생장이 가장 저해되었고 pH 3.2와 4.0에서는 생장에 차이가 없었으며 대조구에서 생장이 가장 크게 나타났다.

두 수종의 각 부위별 생장량의 측정 결과, 잎의 길이는 pH 2.4에서 가장 짧았으며 곰솔에서 1% 수준에서 통계적 유의성이 인정되었다(Table 2). 뿌리 길이는 은행나무와 곰솔 모두 촉진

또는 억제하는 것이 1% 유의수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 은행나무는 가장 낮은 처리구인 pH 2.4에서 가장 짧게 나타난 반면 곰솔은 가장 길게 나타나 두 수종간에 상반된 결과를 나타내었으며 pH 3.2와 pH 4.0에서는 뿌리의 길이에 차이가 없었다. 제 1 측근의 수는 은행나무와 곰솔 두 종이 모두 산성비의 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 은행의 잎표면적은 산성비 처리구에서 대조구보다 적게 나타났으며 특히 pH 4.0 처리구에서 가장 낮게 나타났다.

잎, 줄기 및 뿌리 등 부위별 생중량과 건중량은 은행나무의 경우 pH 2.4에서 잎이 현저하게 감소되어 피사에 이르렀으며 pH 3.2에서 증가 경향을 보이고 pH 4.0에서는 잎과 줄기의 건중량이 감소되는 경향을 보였다(Table 3). 대조적으로 뿌리의 건중량은 pH 4.0에서 가장 크게 나타났다. 곰솔은 줄기와 뿌리 모두 pH 2.4에서 현저하게 감소하였으나 중간 산도인 pH 3.2

Table 4. Chlorophyll content of leaves of *Ginkgo biloba* and *Pinus thunbergii* seedlings exposed to simulated acid rain for 12 weeks

Species	pH	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total content	a/b
<i>Ginkgo biloba</i>	2.4	4.58 ^a	1.98	6.76	2.31
	3.2	4.87	1.95	7.00	2.50
	4.0	4.85	1.77	6.77	2.74
	5.6	5.37	2.25	7.80	2.30
	F-value	1.59	2.15	1.69	
<i>Pinus thunbergii</i>	2.4	4.37	1.85	6.36	2.36
	3.2	4.24	1.99	6.38	2.13
	4.0	4.76	1.50	6.40	3.17
	5.6	5.63	2.14	7.82	2.63
	F-value	13.54 ^b	18.67 ^b	11.21 ^b	

^amg chlorophyll/g f.w. ^bsignificance at 1% levels, Difference in letters in vertical columns indicate difference at 5% level for Duncan's multiple range test.

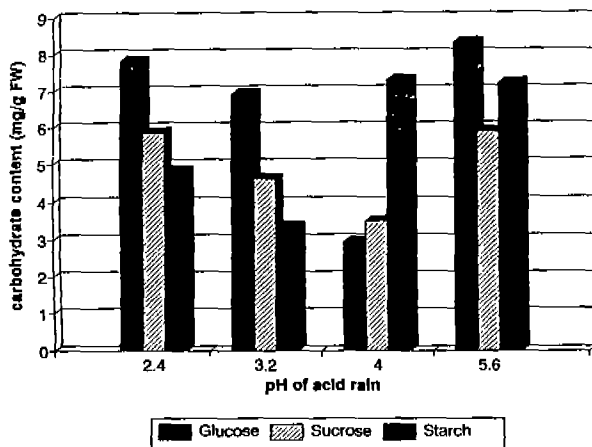


Fig. 1. Effect of simulated acid rain on the contents of glucose, sucrose, and starch in leaves of *Ginkgo biloba* which were exposed to simulated acid rain three times weekly (5 min, 250 mL) for 12 weeks.

에서 다른 산성비 처리구에 비해 증가되는 경향을 보였다. 그러나 은행나무와 곰솔의 총생중량과 건중량은 대조구에 비해서 인공산성비의 처리에 의해 생장이 억제되는 경향을 보였다. T-R율은 은행나무에서 지상부의 생장이 억제되는 경향으로 유의성이 인정되었으며 두 종 모두 pH 3.2 처리구에서 가장 낮았으며 pH값이 높을수록 생장억제는 둔화되는 경향을 보였다.

생리적 반응

엽록소 a/b의 비율은 pH가 낮아짐에 따라 감소되는 경향을 나타냈으며 엽록소 a가 엽록소 b보다 더 감소되었다(Table 4). 엽록소 a와 b의 함량은 두 수종 모두에서 대조구에 비해 감소하는 경향을 나타내었으며 pH 4.0 처리구에서 엽록소 b의 함량의 감소가 다른 처리구에 비해 현저하게 나타났다. 또한 산성비의 처리구에서 전체 엽록소 함량의 감소가 대조구에 비해 현저하게 나타났다. 은행나무 잎의 산성비의 처리구에서 대조구에 비해 두 탄수화물의 함량은 감소된 결과를 보였다(Fig. 1). 산성비의 pH별 탄수화물의 함량은 포도당, 설탕의 함량이 pH 4.0에서 가장 낮았고 전분의 함량은 pH 3.2에서 가장 낮았다.

고찰

은행나무의 키는 pH 3.2에서 다른 산성비의 처리구에 비해 생장이 오히려 촉진되었고 곰솔에서는 pH 4.0 이하에서 생장이 억제되었다. 이러한 결과는 Kim(1991)이 낙엽송, 구상나무 및 종비나무는 pH 4.0 처리구에서 그리고 잣나무와 삼나무는 pH 5.0 처리구에서 최대 생장을 보인 보고와 Evans(1984)가 작물의 종에 따른 상이한 성장반응을 관찰한 것과 같은 경향이었다. 잎의 길이는 pH가 낮아질수록 감소되는 경향으로 12주 동안 성장시킨 *Pseudotsuga menziesii*의 침엽의 길이와 건중량이 pH 5.6-2.0의 산성비 처리간에 차이가 없다는 보고(McColl and Johnson, 1983)는 본 실험의 결과와는 상반되었다. 은행나무와 곰솔의 뿌리 길이는 pH 2.4에서 억제 또는 촉진되는 상반된 결과를 보였으며 pH 3.0과 4.0에서는 산도의 영향을 받지 않았다. 사탕단풍의 유식물에서 측근의 수와 길이는 산도 수준(pH 3.0-4.0)에 따라 영향을 받지 않았으며 측근의 길이는 pH 3.0과 pH 4.0 처리에서 통계상의 차이는 없었으나 pH 3.0에서 가장 길게 나타나서(Dustin and Raynal, 1988), 본 실험의 결과와 같은 경향을 보였다. 한편 이와는 달리 여러 작물에서 뿌리의 생장은 황산비에 의해 억제되었다는 보고도 있다(Lee et al., 1981).

은행나무 잎의 표면적은 대조구에 비해 산성비에 의해 감소되었고 pH 4.0에서 현저하게 감소되었다. 이같은 결과는 은행나무의 잎표면적이 pH의 변화에 별로 차이가 없었음을 보고한 Kim(1986)의 보고와는 상반된 결과이다.

은행나무와 곰솔 모두 총생중량과 건중량은 pH 2.4에서 현저하게 감소하였으며 부위별로는 잎과 줄기의 건중량이 pH 3.2에서는 증가 경향을 보이나 pH 4.0에서는 억제되었다. 이와 같은 결과는 단기간에 걸친 산성비 처리로 스트로부스 소나무 유식물의 총건중량과 침엽의 건중량은 특히 pH 2.3에서 현저하게 증가하였으며 pH 3.0과 pH 4.0에서는 차이가 없었다는

- Constantinidou, H.A. and T.T. Kozlowski. 1979. Effects of sulfur dioxide and ozone on *Ulmus americana* seedlings. I. Visible injury and growth. *Can. J. Bot.* **57**: 170-175.
- Dustin, C.D. and D.J. Raynal. 1988. Effects of simulated acid rain sugar maple seedling root growth. *Environmental and experimental Botany* **23**: 207-213.
- Evans, L.S. 1982. Biological effects of acidity in precipitation on vegetation: A Review. *Environ. Exp. Bot.* **22**: 155-169.
- Evans, L.S. 1984. Botanical aspects of acidic. *Bot. Rev.* **50**: 450-490.
- Fairfax J.A.W. and N.W. Lepp. 1975. Effect of simulated acid rain on cation loss from leaves. *Nature* **255**: 324-325.
- Ferenbaugh, R.W. 1976. Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) *Am. J. Bot.* **63**: 283-288.
- Hindawi, I.J., J.A. Rea and W.L. Griffis. 1980. Response of bush bean exposed to acid mist. *Am. J. Bot.* **67**: 168-172.
- Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* **57**: 1332-1334.
- Irving, P.M. and J.E. Miller. 1980. Productivity of field-grown soybeans exposed to acid rain and sulfur dioxide alone and in combination. *J. Environ. Qual.* **10**: 473-478.
- Johnson, D.W. and D.W. Cole. 1977. Anion mobility in soils. USEPA, Corvallis Environ Res Lab., EPA-600/2-77-068, Corvallis, OR. p. 27.
- Johnston, J.W. JR., D.S. Shriner, C.I. Klarer and D.M. Lodge. 1982. Effect of rain pH on senescence, growth and yield of bush bean. *Environ. Exp. Bot.* **22**: 329-337.
- Katz, J.J. 1972. Chlorophyll function in photosynthesis. *In*, The Chemistry of Plant Pigment. C.O. Chester (ed.), Academic Press, New York. pp. 103-142.
- Kelly, J.M. and R.C. Strickland. 1986. Throughfall and plant nutrient concentration response to simulated acid rain treatment. *Water, Air, and Soil Pollut.* **29**: 219-231.
- Kim, G.T. 1986. Effects of simulated acid rain on growth and physiological characteristics of *Ginkgo biloba* L. seedling and on chemical properties of the tested soil. Seoul National Univ. Ph. D. paper. 44p.
- Kim, G.T. 1988. A study on selection of SO₂ resistant tree species. I. Leaf disk experiment. *J. Korean For. Soc.* **77**: 223-228.
- Kim, G.T. 1991. Effects of artificial acid rain on seed germination and seedling growth of several conifers. I. *J. Korean For. Soc.* **80**: 237-245.
- Knudson L.L., T.W. Tibbitt and G.E. Edwards. 1977. Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. *Plant Physiol.* **60**: 606-608.
- 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.* **2**: 393-398.
- Lee, J.J., G.E. Neely, S.C. Perrigan and L.C. Grothaus. 1981. Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. *Environ. Exp. Bot.* **21**: 171-185.
- McCull, J.G. and R. Johnson. 1983. Effects of simulated acid rain on germination and early growth of Douglas fir and *Ponderosa* pine. *Plant and Soil* **74**: 125-129.
- Ogner, G. 1980. The effect of growth of Norway spruce on soil acidity by acid irrigation. *In*, Ecological Impact of Acid Precipitation. D. Drablos, A. Tollan (eds.), SNSF project, Oslo-As, Norway. pp. 208-209.
- Percy, K. 1986. The effects of simulated acid rain on germinative capacity, growth and morphology of forest tree seedlings. *New Phytol.* **104**: 473-484.
- Porter, R.J. and R.P. Sheridan. 1981. Inhibition of nitrogen fixation in alfalfa by arsenate, heavy metals, fluoride, and simulated acid rain. *Plant Physiol.* **68**: 143-148.
- Pukett, L.J. 1982. Acid rain, air pollution, and tree growth in southeastern New York. *J. Environ. Qual.* **11**: 376-381.
- Raynal, D.J., J.R. Roman and W.M. Eichenlaub. 1982. Response of tree seedlings to acid precipitation. II. Effects of simulated acidified canopy throughfall on sugar maple seedling growth. *Environ. Exp. Bot.* **22**: 385-392.
- Reuss, J. 1978. Simulation of nutrient loss from soils due to rainfall acidity. USEPA, Corvallis Environ Res Lab, EPA-600/3-78-053, p. 44 Corvallis, OR.
- Schaffer, A.A., E.E. Goldschmidt, R. Goren and D. Galili. 1985. Fruit set carbohydrate status in alternate and nonalternate bearing *Citrus* cultivars. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **110**: 574-578.
- Scherbatskoy, T. and R.M. Klein. 1983. Response of spruce and birch foliage to leaching by acidic mists. *J. Environ. Qual.* **12**: 189-195.
- Scholz, F. and S. Reck. 1977. Effects of acids on forest trees as measured by titration *in vitro*. inheritance of buffering capacity in *Picea abies*. *Water, Air and Soil Pollut.* **8**: 41-45.
- Sheridan, R.P. and R. Rosenstreter. 1973. The effect of hydrogen ion concentrations in simulated rain on the moss *Tortula merilis* (Hedw.). *Sm. Bryologist* **76**: 168-173.
- Shriner, D.S. 1982. Air pollution impacts on forest: acid deposition: effects on terrestrial ecosystems. Proc. Sov. Am. Symp., Tallin. USSR, pp. 132-134.
- Smith, C.R., B. L. Vasilas and W.L. Banwart. 1991. Physiological response of two soybean cultivars to simulated acid rain. *New Phytol.* **119**: 53-60.
- Tarpley, L. and JS. Choinski. 1986. The effect of the embryo axis and exogenous sucrose on lipolysis and glyoxysomal enzyme development in *Ricinus communis* (castor bean) endosperm and cotyledons. *Physiol. Plant.* **68**: 419-425.
- Whittaker, R.H., F.H. Bormann, G.E. Likens and T.G. Sicama. 1974. The Hubbard Brook ecosystem study:

보고(Wood and Bormann, 1977)와 상반된 것이다. Lee와 Weber(1979)가 11종의 목본식물의 생장을 비교한 결과 수 종간의 성장반응 차를 보인 보고와 산성물질에 대한 성장반응에 차이를 보인 여러 보고들이 있다(Kim, 1986; Scholz and Reck, 1977), 그러므로 산성비 처리가 유식물의 생장에 미치는 영향은 내성종과 감수성 수종의 차이가 심한 것으로 판단된다.

T/R울에 있어서는 뿌리에 비해 지상부 생장이 억제되었으며 pH값이 높을수록 증가하는 경향은 소나무와 개나리 유식물의 성장반응(정, 1987)과는 다른 결과이다.

본 실험의 결과 전체적인 성장량은 뿌리에 비해 지상부 성장에서 더 영향을 받는 것으로 생각되며 두 수종이 pH 3.2에서 성장량이 증가된 경향을 보인 것은 토양의 염기포화도가 커서 토양산도의 변화가 적고 양분이 제한된 토양에서 산성비에 포함된 영양원이 있거나 토양을 통해 흡수된 결과(Wood and Bormann, 1977)로 인공산성비가 생장에 유리하게 작용한 것으로 보인다. 또한 산성비를 토양에만 처리하지 않고 식물체에 처리했을 때 빗물로부터 잎에서의 물과 수분의 흡수, 보다 유리한 잎의 습도, 또는 잎이 젖는 정도와 관련된 요인에 기인한 것으로 생각된다.

잎의 엽록소는 광화학 반응 중심으로서 중요한 기능을 맡고 있는 광흡수체(Katz, 1972)로 식물의 생리적 기능의 손상정도를 엽록소의 함량으로 나타낼 수 있다. 은행나무와 곰솔 두 수종이 대조구에 비해 산성비의 처리에서 엽록소 함량이 감소하였으나 산성비의 산도간에 차이는 없었다. pH 3.0의 황산용액을 처리했을 때 강남콩의 엽록소가 증가된 보고(Ferenbaugh, 1976)가 있다. 그러나 산성비 처리가 진행될수록 소나무, 잣나무의 유식물에서 엽록소 함량이 감소되었다는 결과(Lee *et al.*, 1984)와 대기오염물질인 O₃에 의해 식물의 엽록소 함량이 감소되며(Kundson *et al.*, 1977) SO₂에 처리한 단풍나무, 일본목련 등에서 엽록소가 파괴된다는 보고(Kim, 1988)와 같은 경향이였다. 엽록소 a와 b에서 곰솔의 경우 엽록소 b가 pH 4.0에서 감소 경향을 보이나 산성비의 처리구에서 엽록소 a/b율이 감소 경향을 보인 것은 강남콩의 총엽록소의 함량은 pH 5.5와 2.0 사이에서 산도가 높아짐에 따라 감소 경향을 보이지만 엽록소 a와 b간에 특이한 감수성의 차이를 나타낸 것은 아니라는 보고(Hindawi *et al.*, 1980)와 다르다. 그러므로 산성비로 인해 엽록소 a가 엽록소 b보다 쉽게 분해되는 것인지 또는 간접적으로 산성비가 엽록소 a와 엽록소 b의 합성, 분해에 영향을 미치는지에 대해 더욱 연구되어야 할 것으로 보인다. 방크스 소나무의 성장과 엽록소 함량은 어떤 산도에서도 영향을 받지 않으나 white spruce의 엽록소 b는 pH 2.6에서 현저한 감소를 보인 보고(Abouguendia and Baschak, 1987)가 있다. 산성비의 산도에 따른 엽록소 함량은 쿡(Smith, 1991), 자주개자리(Porter and Sheridan, 1981), white spruce 및 자작나무의 잎(Scherbat-

skey and Klein, 1983)에서 산성비의 산도가 엽록소 함량에 중요한 영향이 없다는 보고 등이 있다. 따라서 엽록소 함량은 산성비 처리에 대한 반응이 종에 따라 다른 것으로 보이며 H⁺의 영향이 아닌 다른 요인이 엽록소에 영향을 주는 것으로 사료된다.

정(1987)은 소나무와 개나리의 유식물의 엽록소 함량이 강산성의 비에서 증가한 결과는 산성비가 일반적으로 영양원의 구실을 하여 엽록소 함량을 증가시키는데 기여한 결과 성장량도 증가된 것으로 보고하였다. Hindawi 등(1980)은 중간 처리구인 pH 3.0에서 가시적인 잎의 피해가 없이 건중량의 감소가 나타나는 것은 엽록소 함량의 감소를 고려할 때 조직이 파괴된 결과 나타나는 단순히 광합성량이 감소된 것이라기 보다는 잎의 macronutrient의 감소가 관련이 있을 것이라고 하였다.

본 실험에서는 두 수종이 pH 2.4에서 가장 생장이 억제되었으며 잎의 괴사 또는 노화가 되는 경향이 있을지라도 엽록소 함량은 산성비의 산도에 따른 중요한 차이가 없었다. 또한 은행나무의 키와 잎면적, 잎의 길이 생장이 가장 억제된 pH 4.0에서 탄수화물의 함량이 감소된 것으로 볼 때 엽록소 함량의 감소가 성장 감소의 원인이 되는 것은 아니며 광합성을 할 수 있는 잎면적의 감소가 식물생장을 감소시키는 요인일 것으로 사료된다. 또한 pH 2.4에서 pH 4.0보다 탄수화물 함량이 높게 나타난 것은 잎의 피해를 받은 엽록소 상실이 특별하게 식물의 광합성 능력을 감소시키는 것은 아니며(Johnston *et al.*, 1982) pH 영향에 따른 잎표면의 변화 또는 광합성 조직의 감소와 관련이 있을 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

- Abouguendia, Z.M. and L.A. Baschak. 1987. Response of two western canadian conifers to simulated acidic precipitation. *Water, Air, and Soil Pollution* 33: 15-22.
- Abrahamsen, G. 1980. Acid precipitation, plant nutrients and forest growth. *In*, Ecological Impact of Acid Precipitation. D. Drablos and A. Tollan (eds.), SNSF project, Oslo-AS, Norway. pp. 58-63.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast. Phenoloxidase in *Betula vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: 1-15.
- Bergmeyer, H.U., M. Grab and H.E. Walter. 1982. Biochemical reagents for general use. *In*, Methods of Enzymatic Analysis. A. Kunat, B. Dracger and J. Ziegenhorn 3rd ed. Vol. VI, Verlag Chemie, Weinheim. pp. 178-185.
- Bimms, W.O. and D.B. Redfern. 1983. Acid rain and forest decline in West Germany. *Forestry Commission Res. Dev. Paper* 131: 13.
- Brady, N.C. 1974. The nature and properties of soils. Macmillan Publ. Co., New York. 639p.

- forest biomass and production. *Ecol. Monogr.* **44**:233-252.
- Wood, T. and F.H. Bormann. 1974. The effects of an artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis* (Britt). *Environ. Pollut. Ser. A.* **7**: 259-268.
- Wood T. and F.H. Bormann. 1975. Increased in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist. *Ambio* **4**: 169-171.
- Wood, T. and F.H. Bormann. 1977. Short-term effects of a simulated acid rain upon the growth and nutrient relations of *Pinus strobus* L. *Water, Air, and Soil Pollut.* **7**: 479-488.
- Zedaker, S.M., N.S. Nicholas and C. Eagar. 1988. Assessment of forest decline in the Southern Appalachian spruce fir forest, USA. In: Air Pollution and Forest Decline, J.B. Bucher and I. Bucher Wallin (eds.), IUFRO. Switzerland. pp. 334-338.
- 정용문. 1987. 인공산성우가 소나무 유묘 및 개나리 유묘의 생장, 식물체내 함유성분 및 토양의 화학적 성질에 미치는 영향. 박사학위논문. 동국대학교, 서울. 70 pp.

(1994. 1. 20 接受)

Growth response of *Ginkgo biloba* and *Pinus thunbergii* Exposed on Simulated Acid Rain

Kim, Myoung Ran and Woong Young Soh*

Department of Biology, Chonbuk National University, Chonju

ABSTRACT

In order to determine the effects of the simulated acid rain on plant growth response, length and weight growth, chlorophyll content, and carbohydrate content of *Ginkgo biloba* L. and *Pinus thunbergii* P. were examined with 3 months-old seedlings. The seedlings were treated with the rain of pH 5.6, 4.0, 3.2 and 2.4, three times per week. *Ginkgo* seedlings were significantly reduced in fresh and dry weight, leaf area, root length and T-R rate. *Pinus* seedlings showed significant reduction in the extension growth, fresh weight, needle elongation. The growth of shoot was more susceptible to acid rain than that of roots. As physiological indicator to acid rain, there was no significant effect on the chlorophyll content of *Ginkgo*, and carbohydrate production of leaf were reduced at pH 3.2 treatments. However, chlorophyll content of needle from *Pinus thunbergii* were significantly reduced after exposure to simulated acid rain.

Key words: acid rain, growth response, chlorophyll and carbohydrate contents, *Ginkgo biloba* L., *Pinus thunbergii* P.

*Corresponding author: Fax 82-652-70-3315