

# 大氣中の酸性降下物の増加에 따른 *Ctenidium molluscum* 등 4종 藓類의 窒酸還元酵素 活性

任炳善·李点淑\*

木浦大學校 生物學科, 群山大學校 生物學科\*

## Nitrate Reductase Activity of 4 Mosses Including *Ctenidium molluscum* in Relation to Increasing Acidic Deposition from Atmosphere

Ihm, Byung-Sun and Jeom-Sook Lee\*

Department of Biology, Mokpo National University and Department of Biology, Kunsan National University.\*

### ABSTRACT

Nitrate reductase activity(NRA) and induced NRA were compared in 4 species of moss *Ctenidium molluscum*, *Homalothecium cericium*, *Tortella tortusa* and *Neckera crispa* collected from limestone in England. The NRA and dry weight of the *C. molluscum* were also measured after spraying with acidic deposition adjusted to pH 5.6, 4.6, 3.6 and 2.8 with one of two molar ratios of nitric to sulfuric acid, i.e. 1:0(N alone) and 1:2(1N+2S) for 20 days.

All 4 species showed high NR levels in the upper part of cut shoots and occurred maximum induction of NRA within 6h. *C. molluscum* had the highest NRA levels among 4 species. After daily spraying of acidic deposition, NRA of *C. molluscum* was increased much more largely at pH 6 and pH 3.6 derived from N alone than from 1N+2S. However that was decreased at pH 2.8 derived both from N alone and 1N+2S. Decline of dry weight had occurred at pH 3.6 and 2.8 derived both from N alone and 1N+2S. Whereas substantial fertilization effect was observed at pH 4.6 derived from N alone.

The data suggest that *C. molluscum* are able to utilize nitrate more effectively than any other species, and NRA induction are more sensitive than growth response to nitrogen content of acidic deposition in a short-term. However toxic effects was detected at high NO<sub>3</sub> supply and low pH acidic deposition.

### 緒 論

산성 강하물(acidic deposition)은 Smith(1852)가 Manchester 지역의 대기오염을 논하면서  
\*본 논문은 1990년도 교육부 해외파견교수 연구조성비에 의하여 연구되었음.

산성비라는 용어를 처음 사용한 이후, 흔히 산성비로 불리워지고 있으며 이는 도시 주변의 심각한 환경문제를 야기시키고 있다.

산성강하물의 주요 원인물질은 황과 질소산화물이며, 이들의 조성비는 5:1에서 2:1의 범위로 (Tang *et al.*, 1986) 황산화물의 조성비가 높아 산성강하물에 의한 피해는 주로 황산화물에 관심을 가지고 연구되어 왔다(Thomas *et al.*, 1944; Guderian, 1970; Stratmann, 1972; Robert, 1984). 그런데 대기중의 황산화물은 최근 20년동안 유럽 각국의 적극적인 노력으로 크게 감소되었으나(Robert *et al.*, 1983), 대기와 빗물중의 질소산화물은 4배이상 증가하고 있어(Salmon *et al.*, 1978; Brimblecombe and Stedman, 1982) 식물의 생장, 군집구조 및 그 발달 등에 영향을 미치므로써 자연생태계를 변화시키고 있다(Press *et al.*, 1986). 또한 대기 중으로부터 질소산화물의 강하량이 증가하면 식물에게 직접적인 독성 효과를 일으키지만(Marie and Ormord, 1984), 대기중의 다른 오염물질, 즉 오존이나 황산화물과 복합적으로 작용하여 간접적인 영향을 미치기도 한다(Chappelka *et al.*, 1985; Wellburn, 1990; Crowder, 1991). 이처럼 질소산화물이 식물에 미치는 영향은 매우 복잡하고 그 원인이 아직까지 정확하게 밝혀지지 않고 있다. 특히 선태류는 지의류와 함께 대기오염의 지표식물로 이용되어 왔는데(Gilbert, 1968), 이는 각질층과 같은 보호막이 결여되어(Rao, 1982) 산성강하물에도 매우 민감한 반응을 보일 것으로 예상된다.

국내에서는 1980년대 이후 대기오염에 대한 관심이 커지면서, 손과 양(1985)이 서울시의 산성물질 강하현상을, 산림청 임업시험장(1988)이 산성비와 관련된 임목 및 토양의 조사를, 이와 민(1989)이 임목 지역내에서 토양의 산성화를, 유(1990)가 인공산성비에 의한 식물과 토양의 이온세탈 등을 조사한 바 있으나, 산성강하물이 선류에 미치는 영향이 질소대사와 연관하여 연구된 바는 없는것으로 사료된다.

본 연구의 목적은 영국의 석회암 지대에 분포하는 *Ctenidium molluscum*, *Homalothecium cericium*, *Tortella tortusa* 및 *Neckera crispa* 4종의 질산환원효소의 활성과 그 유도를 측정하여 질소이용능이 가장 높은 종을 선별하며, 질산과 황산의 조성비를 달리한 산성강하물의 증가가 *C. molluscum*의 NRA와 생장에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

## 材料 및 方法

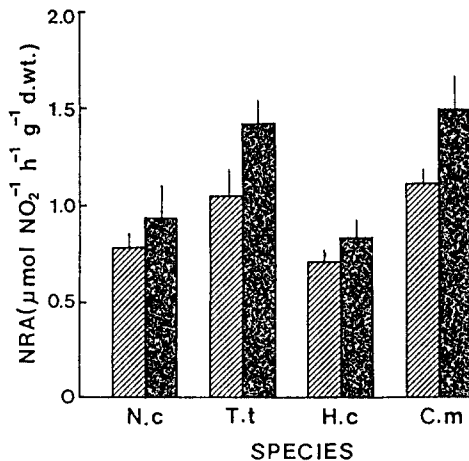
실험재료 식물은 영국 North Yorkshire 지방의 석회암지대에 흔히 분포하는 선류인 *Ctenidium molluscum*, *Homalothecium cericium*, *Tortella tortusa* 및 *Neckera crispa*를 채집하여 실험실로 운반한 후 줄기끝으로 부터 4cm의 길이로 절단하고 이를 플라스틱 용기(직경 20cm, 높이 9cm)안의 그물망위에 자연상태와 유사한 밀도로 이식하였다. 식물재배는 생육실(Conviron, SH-10)내에서 낮과 밤의 주기를 14/10h, 온도를 20/15℃, 광도를 60Wm<sup>-2</sup>로 하였다. 4종의 질산환원효소 활성(Nitrate Reductase Activity, NRA)은 2일 동안 매일 2mm씩 10:00시에 증류수를 살포하여 조직이 평형에 도달하게 한 후, 각종의 줄기 선단(줄기끝으로 부터 2cm의 길이)과 그 이하의 하단조직으로 구분하여 채취하고 Press and Lee(1982)법에 따라 측정하였다. 4종의 NRA의 유도는 2일 후 증류수 대신 2mM KNO<sub>3</sub>를 10:00시에 살포한 다음 3시간 간격으로 12시간 동안 이루어졌다.

황산과 질산의 조성비와 산성강하물의 증가에 따른 *Ctenidium molluscum*의 NRA와 성장반응을 보기위하여, 1M HNO<sub>3</sub> 용액과 1M HNO<sub>3</sub>와 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 비를 1:2로 한 혼합용액을 NaCl:

2.22;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ : 1.24;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ : 0.789;  $\text{NaNO}_3$ : 0.740;  $\text{CaCl}_2$ : 0.321;  $\text{NH}_4\text{Cl}$ : 0.309;  $\text{KCl}$ : 0.277;  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 0.228;  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ : 0.040;  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ : 0.029의 화학조성용액 (mg/l)(Evans *et al.*, 1985)에 첨가하여 각각 pH 5.6, 4.6, 3.6 및 2.8로 조정된 산성 강하물을 8개구의 식물에 매일 10:00시에 2mm씩 살포하였다. NRA의 측정은 20일 동안 5일 간격으로 줄기 선단을 16:00시에 채취하여 3회 반복 실시하였으며 생장은 20일 후에 각 pH에서 20개체씩 채취하여 80°C 건조기에서 48시간 동안 건조시킨 후 단위개체당 건조량으로 표시하였다.

## 結果 및 考察

Fig. 1은 석회암지대에 분포하는 4종의 줄기 선단과 하단의 NRA를 측정된 것이다. NRA는 4



**Fig. 1.** Nitrate reductase activity in cut shoot (▨ lower part; ■ upper part) of *N. crispata* (N.c), *T. tortusa* (T.t), *H. cericium* (H.c) and *C. molluscum* (C.m) collected from limestone area.

종 모두가 줄기의 선단에서 높게 나타났다. *C. molluscum*의 줄기 선단과 하단의 NRA는 각각 1.5와 1.1  $\mu\text{mol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{d.wt.}$ 로 4종 중 가장 높았고 다음으로 *T. tortusa*, *N. crispata*, *H. cericium* 순으로 낮았다. NRA는 식물의 질소대사와 밀접한 관련을 갖는데 (Press *et al.*, 1986), 4종 중 *C. molluscum*이 NRA가 가장 높아 질소 이용능도 가장 높을 것으로 생각된다. 또한 식물의 NRA는 조직에 따라 차이를 보일 뿐만 아니라 (Ruftly *et al.*, 1984; Campbell, 1988) 빛, 온도, 수분 등의 환경요인에 의하여 영향을 받는 것으로 보고된 바 있는데 (Beevers and Hageman, 1969; Venesland and Guerrero, 1979; Srivastava, 1980; Guerrero *et al.*, 1981; Subhash and Beevers, 1983), 4종의 NRA가 줄기의 선단에서 높게 나타난 것은 줄기의 선단 조직이 빛조건이 양호하고 질산환원효소가 광합성이 활발한 세포질에 많이 존재한 것과 연관되는 것으로 생각된다 (Wellburn, 1990).

Fig. 2는 2mM  $\text{KNO}_3$ 를 4종에 처리하여 줄기 선단의 NRA를 유도한 것이다. NRA는 증류수로 처리한 대조구가 시간 경과에 따라 차이가 없었으나  $\text{KNO}_3$ 를 처리한 구가 4종 모두에서 6시간 후에 최대치에 도달한 후, 9시간 후부터 서서히 감소하였다. NRA의 최대치는 대조구에 비하여 처리구에서 6배 이상 높았고, Fig. 1에서 각 종의 NRA와 동일한 순으로 *C. molluscum*이 가장 크고, 다음으로 *Totella tortusa*, *Neckera crispata*, *Homalothecium cericium* 순이었다. NRA의 유도는 NR유전자의 전사단계를 촉진시키므로써, 고등식물은 12~24시간내에 최대치에 도달하는데 (Woodine *et al.*, 1985; Redinbaugh and Campbell, 1991), 선류는 각질층이 없고 (Rao, 1982), 영양염류를 빨리 흡수하기 (Anderson and Bourdeau, 1955) 때문에 매우 민감한 반응을 보인 것으로 생각된다.

NRA의 수준이 가장 높은 *C. molluscum*에 대하여 질산과 황산의 혼합용액(1:2)으로 조정된 산성 강하물의 각 pH에서 NRA의 변화를 20일 동안 5일 간격으로 측정하였다 (Fig. 3) NRA는

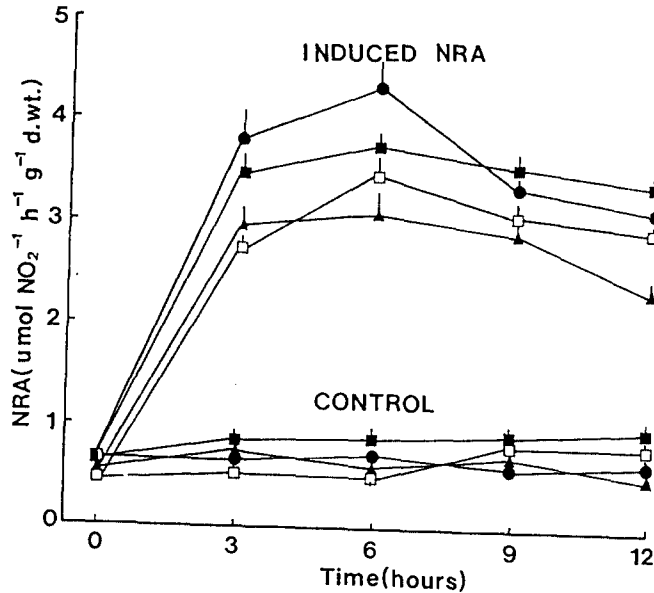
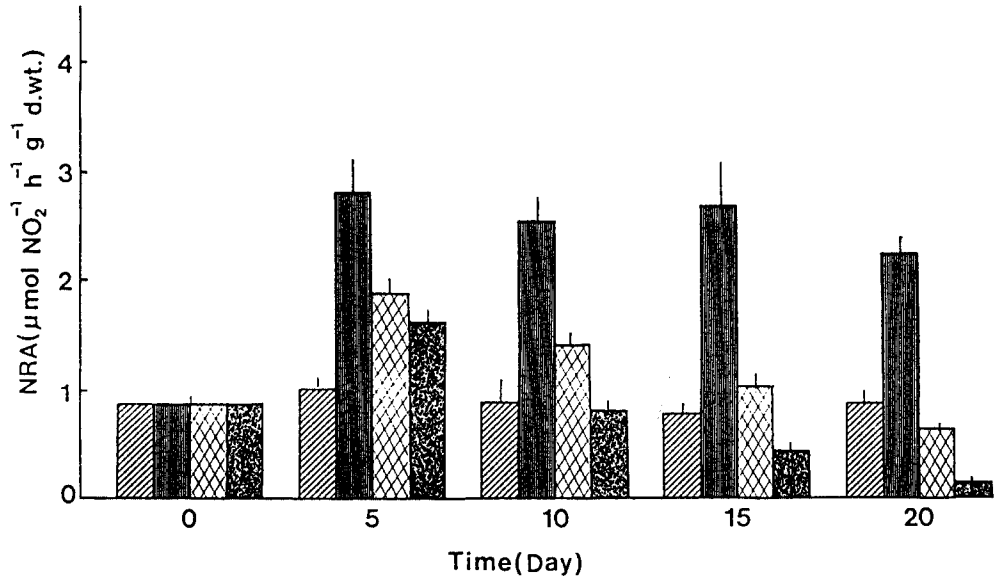


Fig. 2. Induced nitrate reductase activity of *C. molluscum*(●), *T. tortusa*(■), *N. crispera*(□) and *H. cericium*(▲) over a 12h period after spraying with 2mM  $KNO_3$ .

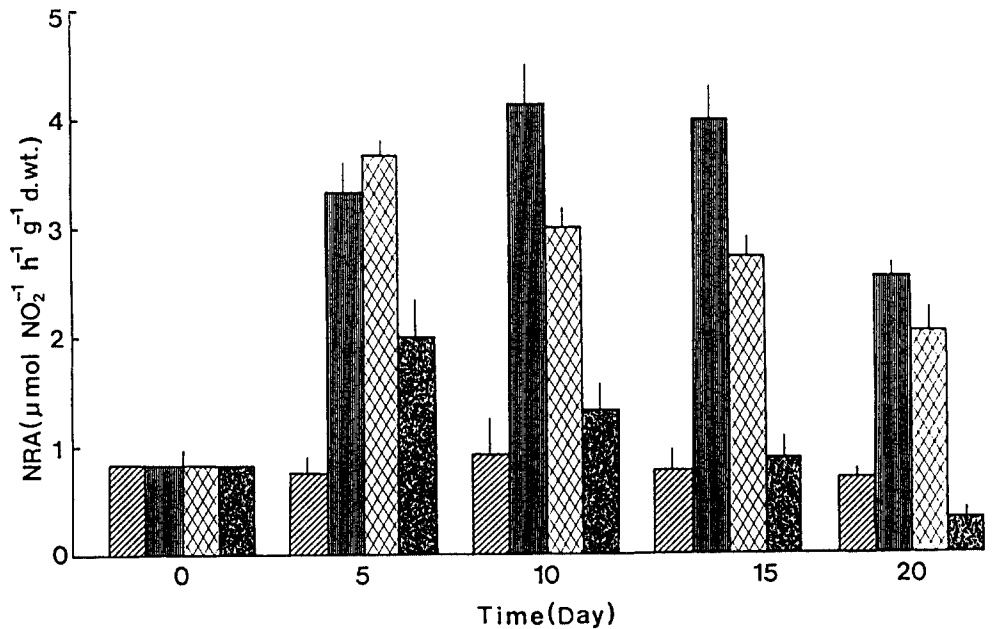
pH 5.6인 대조구에서 20일 동안  $0.82 \sim 1.01 \mu\text{mol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{d.wt.}$  의 범위로 거의 일정하였으나, pH 4.6, 3.6 및 2.8에서 5일 후에 각각 2.72, 1.82 및  $1.67 \mu\text{mol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{d.wt.}$  로 증가하였다. 그 후에 NRA는 pH 4.6에서 높게 유지하였고 pH 3.6에서 서서히 감소하였는데, 특히 pH 2.8에서 20일 후에  $0.15 \mu\text{mol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{d.wt.}$  로 대조구보다 크게 감소하였다.

한편 질산용액만으로 조정된 산성 강하물의 각 pH에서 NRA 변화는 Fig. 3과 유사하였으나 pH 4.6, 3.6 및 2.8에서 5일 후에 각각 3.41, 3.66, 및  $1.85 \mu\text{mol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{d.wt.}$  로 질산과 황산의 혼합용액으로 조정된 pH에서 보다 크게 증가한 후 감소되었으며, 다만 pH 4.6에서는 10일 후까지  $4.15 \mu\text{mol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{d.wt.}$  로 증가한 후 20일 후에 약간 감소하였다(Fig. 4). pH 2.8에서는 감소폭이 커서, 20일 후에  $0.38 \mu\text{mol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{d.wt.}$  이었다. 이처럼 NRA는 질산과 황산의 혼합용액보다 질산용액으로 조정된 각 pH에서 높게 나타났고, 산성 강하물 중의 질산농도에 비례하여 증가함을 보였으나, 산성 강하물의 pH가 낮아지고 처리시간이 길어짐에 따라 감소함을 보였다. 이는 외부로부터 적당량의 질소원을 공급하면 NRA가 이의 농도에 비례하여 증가함을 보이나(Lee & Baxter, 1990), 계속적으로 과다하게 공급하면  $\text{NO}_3^-$ 가 빠른 속도로 환원되지 않고 세포내에 과다하게 축적되므로써 NRA를 억제하는 것(Reddy and Menary, 1990)으로 생각된다. 또한 *C. molluscum*은 산성강하물 중의 질산에 의하여 단기적으로 NRA를 대조구에 비하여 2~4배로 크게 증가시킴으로써, 대기 중으로부터 강아되는 질소원을 보다 효율적으로 흡수하기 위한 것으로 사료되는데, 이는 대기 중의 질소산화물의 오염에 대한 중요한 지표종으로 이용 가능할 것으로 생각된다.

Fig. 5는 질산과 황산의 조성비를 달리한 각 pH의 산성 강하물을 *C. molluscum*에 20일 동안



**Fig. 3.** Nitrate reductase activity of *C. molluscum* after spraying with acidic deposition adjusted to pH 5.6(▨), 4.6(▧), 3.6(■) and 2.8(▩) derived from 1:2 molar ratio of nitric to sulfuric acid.



**Fig. 4.** Nitrate reductase activity of *C. molluscum* after spraying with acidic deposition adjusted to pH 5.6(▨), 4.6(▧), 3.6(■) and 2.8(▩) derived from nitric acid alone.

처리한 후 생장을 보기 위해 줄기의 건중량을 측정하였다. 질산용액과, 황산과 질산의 혼합용액으로 조정된 대조구에서 줄기의 건중량은 각각 1.65 와 1.41 mg이었고 pH 4.6 에서 각각 2.10 과 1.55 mg 으로, 각각 약 27% 와 10% 증가하였다. pH 3.6 이하에서는 산성강하물에 의하여 모두 감소하였는데, 질산용액 보다 질산과 황산의 혼합용액으로 조정된 것에서 감소폭이 컸다. 이처럼 건중량은 질산과 황산의 조성비에 따라 차이를 보였고, 낮은 농도의 산성강하물중의 질산은 식물의 생장을 단기간 동안 약간 촉진하였다. 낮은 pH의 산성강하물에서 건중량이 감소한 것은 식물의 광합성과 생장이 억제되고(Scotte and Hutchinson, 1987; Hutchinson and Scotte, 1988)  $Ca^{2+}$  과  $Mg^{2+}$ 의 세탈이 증가(Scotte *et al.*, 1989)하기 때문이며, 질산보다 황산과 질산으로 조절된 pH에서 생장의 억제효과가 크게 나타난 것은  $SO_4^{2-}$ 의 독성때문으로 생각된다(Lechowicz, 1987; Baxter *et al.*, 1989,1991; Lee and Baxter, 1990).

산성 강하물의 증가에 따른 *C. molluscum*의 NRA는 산성 강하물 중의 질소원의 농도에 비례하여 증가하고, 단기적으로 민감한 반응을 보였으나 생장은 이에 따른 변화가 적어, 대기 중의 질소 강하량과 식물의 질소대사능을 파악하는데는, 선류의 NRA 측정이 중요한 요인으로 생각된다.

산성 강하물의 증가에 따른 *C. molluscum*의 NRA는 산성 강하물 중의 질소원의 농도에 비례하여 증가하고, 단기적으로 민감한 반응을 보였으나 생장은 이에 따른 변화가 적어, 대기 중의 질소 강하량과 식물의 질소대사능을 파악하는데는, 선류의 NRA 측정이 중요한 요인으로 생각된다.

산성 강하물의 증가에 따른 *C. molluscum*의 NRA는 산성 강하물 중의 질소원의 농도에 비례하여 증가하고, 단기적으로 민감한 반응을 보였으나 생장은 이에 따른 변화가 적어, 대기 중의 질소 강하량과 식물의 질소대사능을 파악하는데는, 선류의 NRA 측정이 중요한 요인으로 생각된다.

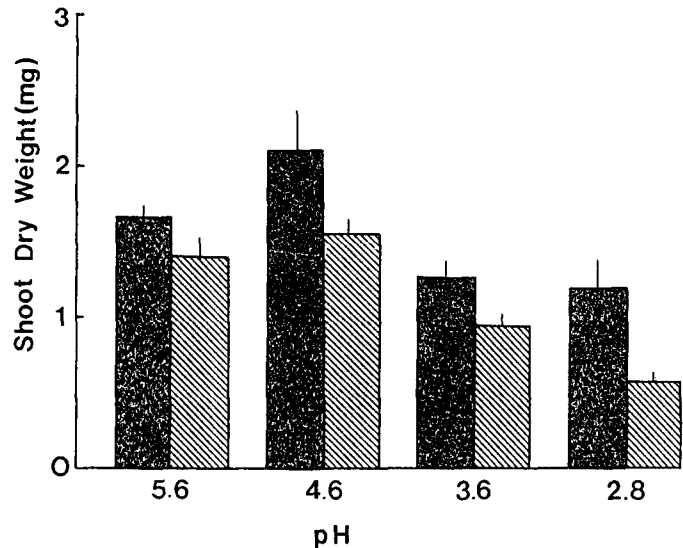


Fig. 5. Dry weight of *C. molluscum* after 20 days of spraying with acidic deposition in different molar ratio of nitric to sulfuric acid, i.e. 1:0 (■) and 1:2 (▨)

## 摘 要

영국 석회암 지대에 분포하는 *Ctenidium molluscum*, *Homalothecium cericium*, *Tortella tortusa* 및 *Neckera crispa*의 4종에 대한 NRA를 측정하고 2mM  $KNO_3$ 를 공급하여 이를 유도하였으며, *C. molluscum*에 질산과 황산의 조성비를 1:0과 1:2로 한 pH 5.6, 4.6, 3.6 및 2.8의 산성 강하물을 살포하여 NRA와 줄기의 건중량을 20일 동안 측정하였다. 4종의 NRA는 줄기 하단에 비하여 선단에서 모두 높게 나타났으며, 그 유도는 6시간만에 최대치에 도달하였다. NRA의 수준은 *C. molluscum*이 가장 높았고 다음으로 *T. tortusa*, *N. crispa*, *H. cericium*순으로 낮았다. 산성 강하물의 처리에 따른 *C. molluscum*의 NRA는 대조구인 pH 5.6에 비하여 pH 4.6와 3.6에서 5일 후에 2~4배로 크게 증가하였고, 다만 pH 2.8에서 10일 이후 감소하였는데, 황산과 질산의 혼합용액 보다 질산용액만으로 조정된 각 pH에서 높은 NRA를 보였다. 줄기의 건중량은 대조구에 비하여

pH 4.6에서 질산용액으로 조정한 것이 27%, 질산과 황산의 혼합용액으로 조정한 것이 10% 로 증가하였고, pH 3.6이하에서 모두 감소하였는데 질산과 황산으로 조정한 것이 감소폭이 컸다.

이상에서 *C. molluscum*은 4종의 선류중에서 NRA 수준이 가장높아 산성강하물중의 질소이용 능이 가장 높을 것으로 예상되며, *C. molluscum*의 NRA는 산성강하물중의 질산농도에 비례하여 증가하나, 생장은 pH 4.6 에서만 약간 증가하여, 대기중의 산성강하물에 의한 *C. molluscum*의 단기적 반응은 NRA가 생장에 비하여 훨씬 민감한 것으로 나타났다.

## 引用文獻

- Anderson, L. E. and P. E. Bourdeau. 1955. Water relations of two species of terrestrial mosses. *Ecology* 36:206-212.
- Baxter, R., M. J. Emes and J. A. Lee. 1989. Effects of the bisulphite ion on growth and photosynthesis of *Sphagnum cuspidatum* Hoffm. *New Phytologist* 111:547-462.
- Baxter, R., M. J. Emes and J. A. Lee. 1991. Short-term effects of bisulphite on pollution-tolerant and pollution-sensitive populations of *Sphagnum cuspidatum* E. *New Phytologist* 118:425-431.
- Beever, L. and R. H. Hageman. 1969. Nitrate reduction in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 20:495-522
- Brimblecombe, P. and D. H. Stedman. 1982 . Historical evidence for a dramatic increase in the nitrate component of acid rain. *Nature* 298:460-462.
- Campbell, W. H. 1988. Nitrate reductase and its role in nitrate assimilation in plants. *Physiologia Plantarum* 74:214-219.
- Chappelka, A. I., III, B. I. Chevone and T. E. Burk. 1985. Growth response of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) seedling to ozone, sulfur dioxide and simulated acidic precipitation, alone and in combination. *Environmental and Experimental Botany* 25: 233-244.
- Crowder, A. 1991. Acidification, Metals and Macrophytes. *Environmental Pollution* 71:171-203.
- Evans, L. S., K. F. Lewin, K. A. Santucci and M. J. Patti. 1985. Effects of frequency and duration of simulated acidic rainfalls on soybean yields. *New Phytologist* 100:199-208.
- Gilbert, O. L. 1968. Bryophyta as indicators of air pollution in the Tyne Valley. *New Phytologist* 67:15-30.
- Guerrero, M. G., J. M. Vega and M. Losada. 1981. The assimilatory nitrate-reducing system and its regulation. *Annual Review of Plant Physiology* 32:169-204.
- Guderian, R. 1970. Untersuchungen über quantitative Beziehungen zwischen dem Schwefelgehalt von Pflanzen und dem Schwefeldioxidgehalt der Luft. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz* 77.
- Hutchinson, T. C. and M. G. Scott. 1988. The response of the feather moss, *Pleurozium schreberi*, to 5 years of simulated acid precipitation in the Canadian boreal forest. *Canadian J. Botany* 66:82-88.

- Lechowicz, M. J. 1987. Resistance of the calibou lichen *Cladina stellaris*(Opiz) Brodo. Water, Air and Soil Pollution 18:421-430.
- Lee, J. A. and R. Baxter. 1990. Responses of *Sphagnum* species to atmospheric nitrogen and sulfur deposition. Botanical Journal of the Linnean Society 104:255-265.
- 이수옥, 민일식. 1989. 대기오염 및 산성우가 삼림생태계의 토양 산도 및 양료 분포에 미치는 영향. 한국 임학회지 78(1):11-25
- Marie, B. A. and D. P. Ormrod. 1984. Tomato plant growth with continuous exposure to SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub>. Environmental Pollution 33:257-265.
- McColl, J. G. and R. Johnson. 1983. Effects simulated acid rain on germination and early growth of fir and ponderosa pine. Plant and Soil 34:71-77.
- Press, M. C., S. J. Woodin and J. A. Lee. 1986. The potential importance of an increased atmospheric nitrogen supply to the growth of ombrotrophic *Sphagnum* species. New Phytologist 103:45-55.
- Press, M. C. and J. A. Lee. 1982. Nitrate reductase activity of *Sphagnum* species in the southern Pennine. The New Phytologist 92:487-494.
- Rao, D. M. 1982. Responses of bryophytes to air pollution, in A. J. E. Smith(Ed.). Bryophyte Ecology :pp. 445-471. London, Chapman & Hall.
- Reddy, K. S. and R. C. Menary. 1990. Nitrate reductase and nitrate accumulation in relation to nitrate toxicity in *Boronia megastigma*. Physiologia Plantarum 78:430-434.
- Redinbaugh, M. G. and W. H. Campbell. 1991. Higher plant responses to environmental nitrate. Physiologia Plantarum 82:640-650.
- Robert, T. M. 1984. Long-term effects of sulphur dioxide on crops: an analysis of dose-response functions. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B. 305: 299-316.
- Robert, T. M., N. M Darrall and P. I. Lane. 1983. Effects of gaseous air pollutants on agriculture and forestry in the UK. Advances in Applied Biology 9:1-142.
- Rufty, T. W., D. W. Israel and R. J. Volk. 1984. Assimilation of <sup>15</sup>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> taken up by plants in the light and in the dark. Plant Physiology 76:769-775.
- 유태철. 1990. 인공산성비물질의 산도에 따른 토양과 식물로부터 이온세탈량의 변화. 서울대학교 석사학위논문. p. 65.
- Salmon, L., D. H. F. Atkins, E. M. R. Fisher, C. Healy and P. V. Law. 1978. Retrospective trend analysis of the content of UK air particulate matter 1957-1974. Science of the total Environment 9: 161-200.
- 산림청 임업시험장. 1986-1988. 대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향. 과학기술처. P. 191
- Scott, M. G. and T. C. Hutchinson. 1987. Effects of a simulated acid rain episode on photosynthesis and recovery in the caribou forage lichens *Cladina stellaris* and *Cladina rangiferina*. New Phytologist 107:567-575.
- Scott, M. G., T. C. Hutchinson and M. J. Feth. 1989. A comparison of the effects on Canadian boreal forest lichens of nitric and sulphuric acids as sources of rain acidity.



- New Phytologist 111:663-671.
- Smith, R. A. 1852. On the air and rain of Manchester. Memoris of the Literary and Philosophical Society of Manchester 10:207-217.
- 손동현 . 양성철. 1985. 서울시의 산성물질 강하현상에 관한 연구. 한국대기학회지 1:33-41.
- Srivastava, H. S. 1980. Regulation of nitrate reductase activity in higher plants. Phytochemistry 19:725-733.
- Stratmann, H. 1972. Zielsetzung im Bereich des Immissionsschutzes. Dortmund, Bergmann-Verlag, Schriftenr. d. Arbeitsgem. Rationalisierungd. Land Nordrhein-Westfalen 133.
- Subhash, C. G. and L. Beevers. 1983. Environmental influences on nitrite reductase activity in *Pisum sativum* L. seedlings. J. of Experimental Botany 34:1455-1462.
- Tang, A. J. S., W. H. Chan., D. H. S Chung. and M. A. Lusi. 1986. Spatial and temporal patterns of sulfate and nitrate wet deposition in Ontario. Water, Air and Soil Pollution 30:263-273.
- Thomas, M. D., R. H. Hendricks and G. R. Hill. 1944. Some chemical reaction of sulphur dioxide after absorption by alfalfa and sugar beets. Plant Physiology 19:212-226.
- Vennesland, B. and M. G Guerrere. 1979. Reduction of nitrate and nitrite. In:Encyclopedia of plant physiology. New Series Vol. 6. Eds. M. Gibbs and E. Latzko. Springer-Verlag Press, New York, 445-456.
- Wellburn, A. R. 1990. Transley Review No. 24. Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizer? New Phytologist 115:395-429.
- Woodin, S. J., M. C. Press and J. A. Lee. 1985. Responses of *Sphagnum fuscum* to atmospheric nitrogen deposition. New Phytologist 105:111-117.

(1992年 8月 20日 接受)