

Resin Bag을 이용한 토양의 영양염류

이용도 측정

-질산태 질소와 암모니아태 질소를 중심으로-

文 炯 泰

공주사범대학 생물교육과

1. 서 론

토양의 영양염류 함량을 측정하는 방법에는 여러가지가 있다. 그러나 토양이 함유 하고 있는 특정한 영양염류의 전제량, 또는 식물체가 이용할 수 있는 가용성 영양 염류의 양을 측정하는 종래의 방법들은 몇가지 문제점을 가지고 있다. 종래의 방법들은 몇가지 문제점을 가지고 있다. 종래의 방법들은 모두 일정량의 토양을 조사지소에서 제거하여야만 한다. 물론 Randomized Block Design에 의하여 토양을 채취하긴 하지만 지역적인 소규모의 토양 교란을 피할 수 없다. 또 하나의 문제점은 이러한 방법들은 토양이 식물체에게 공급하고 있는 영양염류의 양을 파악할 수 없다는 점이다(Ball and Williams, 1968; Gibson *et al.*, 1985). 이러한 문제점들은 토양속에 설치하는 Lysimeter 나 Ion-selective electrode를 사용함으로써 어느정도 해결할 수 있지만 경제적인 어려움이 따른다(Page *et al.*, 1978).

합성 이온교환 수지(Synthetic Ion-exchange Resin)는 토양의 영양염류 상태를 측정 하기 위하여 오래전 부터 사용되어 왔다. Sibbensen(1977)은 토양의 인산 상태를 평가 하기 위하여 나일론 망으로 만든 Resin bag을 토양 현탁액과 함께 진탕시키는 간단한 방법을 기술한 바 있고, 최근에 Binkley and Matson (1983)은 Ion Exchange Resin Bag을 사용하여 현장에서 삼림토양의 질소 이용도를 측정하는 실험을 통해 이 방법이 on-site condition에 매우 민감함을

밝힌 바 있다. 이온교환 수지의 exchange potential은 여러가지 요인에 의해 영향을 받지만 가장 중요한 요인은 분자의 크기, valency, 그리고 concentration이다. 한번 사용한 resin은 재충전시켜 다시 사용할 수 있기 때문에 경제적인 면에서도 이점이 있다.

분해과정에 있는 유기물질에서 방출되는 암모니아태 질소와 이들의 산화에 의해 형성 되는 질산태 질소는 토양 무기질소의 주요 공급원이며, 식물과 미생물에 의한 무기 질소의 흡수는 가장 큰 sink source가 된다(Vitousek and Matson, 1985). 물론 대기중으로부터의 공급, 세탈, 탈질작용 등이 가용성 질소량의 증감에 영향을 주지만 이러한 요인들은 삼림토양의 경우 연간 무기화량이나 흡수량의 10 % 미만이다(Rosswall, 1976). 현재까지는 fields조건하에서 질소의 무기화량을 정확히 측정할 수 있는 방법은 없다(Keeney, 1980). 현재 사용되고 있는 방법들은 대부분 일정량의 토양을 실험실에서 일정 기간 동안 연속적으로 incubation 시킨다음 생성되는 질소량을 측정하여 그 토양의 potential mineralization량으로 간주하고 있다. 그러나 실험실의 배양조건은 field condition (temperature, water, etc.)과는 큰 차이가 있기 때문에 실제로 field soil 의 질소 무기화량과는 큰 차이가 있을수 있다. Eno(1960)는 polyethylene bag에 토양을 넣어 field에 일정기간 동안 incubation시켜 질산태 질소의 생산을 조사한 바 있는데, 자연상태의 온도변화에 따른 질산태 질소의 생성량 파악에는 별 문제점이 없었지만 물의 이동이 제한된다는 점과, 시간과 경비 면에서 비효율적임이 지적되고 있다(Binkley and Matson, 1983). Resin bag은 field condition에 일정 기간 동안 incubation시키는 것 이기 때문에 토양의 온도나 수분에 따른 문제는 없지만 식물 뿌리와의 경쟁이 약한 단점이 있다(Binkley 1984).

본인은 Jornada LTER site에서 Ion-exchange resin bag을 이용하여 질산태

질소와 암모니아태 질소의 이용도를 조사한 바 있기에 그 사용방법과 결과 및 다른 연구자들의 실험 결과를 소개하고자 합니다.

2. 방 법

1) Resin bag제작

Resin을 담을 주머니는 보통 흰색의 nylon stocking을 사용한다. Resin입자가 빠져 나오지 않을 정도로 구멍이 미세하여야 하며 친수성이어야 한다. 길이가 약 12cm정도로 nylon stocking을 절단한 후 한쪽 끝을 실(나이론)로 봉한다. 필요할 경우 주머니의 평균 면적과 무게를 구한다. 일정량의 resin을(보통 10g) 나이론 stocking 주머니에 넣고 입구를 봉한다.(양이온 흡착 resin:DOWEX 50W-X8:음이온 흡착 resin:DOWEX 1-X8).이때 사용하는 실의 색을 달리하면 현장에서 구분하기가 편리하다. Resin의 mesh size는 보통 20 - 50 mesh를 사용하나 형편에 따라 달리할 수 있다.

2) Resin bags의 충전

음이온 흡착 resin은 0.5N NaHCO_3 , 양이온 흡착 resin은 0.5N HCl로 다음과 같이 충전시킨다. 양이온 흡착 resin bags을 0.5N HCl용액에 적어도 15분 이상 완전히 담가둔 다음 꺼내어 Deionized water로 씻는다. 이 과정을 3회 반복 하는데 마지막 담금이 끝난 후에는 Deionized water로 3회 이상 씻는다. 음이온 흡착 resin bags도 같은 과정을 거친다. 이때 PVC장갑을 착용하여 되도록이면 resin bag의 실부분만을 만지도록 한다. Deionized water로 마지막 행금이 끝난 다음 수동식 원심분리기를 이용하여 물기를 제거한 다음 zip-lock plastic bag에 넣어 냉장고에 보관한다. 이때 resin bags을 얼린 상태로 두면 장기간 보관할 수 있다.

3) 야외 설치 및 수거

PVC장갑을 착용한다. Resin bag을 현장에 설치할 때는 편평하게 놓아두고 또한 Resin이 고르게 퍼지도록 한다. 가능하면 토양의 원구조를 크게 변화시키지 않도록 주의한다. 10 - 15 cm깊이의 soil core를 떠낸 다음 resin bag을 묻고 떠낸 soil core를 원위치에 둔다. 일정기간 동안 토양속에 묻어둔 뒤 (보통 1 개월 또는 15 일) 수거하는데 이때 새로운 resin bag으로 교체한다. 수거한 resin bag은 Deionized water로 행구어 걸에 붙은 오물이나 점토입자들을 제거한 다음 수동식 원심분리기로 물기를 제거한다.

4) 추출과 분석

100 ml 의 2.0N KCl 이 들어있는 125 ml의 nalgene Plastic 병에 resin bag을 넣고 30번 정도 세게 흔들어 준 다음 하루 밤동안 정치시킨다. 용액을 Whatman 42로 여과하여 Autoanalyzer나 Ion-meter 또는 기타의 화학적 분석 방법으로 각각의 이온을 정량한다.

3. 결 과

1) Factors affecting nitrogen accumulations on resin

Binkley(1984)는 ion-exchange resin bag에 흡착되는 암모니아태 질소와 질산태 질소의 양에 영향을 주는 요인들 중에서 토양에 함유되어 있는 무기 질소의 농도, 수분구배, 그리고 무기질소에 대한 식물과 미생물에 의한 경쟁 효과를 조사하였다. Fig.1과 2는 암모니아태 질소와 질산태 질소의 구배에 따른 resin bag에 흡착되는 무기질소의 양을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 흡착되는 질산태 질소의 양은 토양의 N level과 일차적인 관계가($r^2 = 0.48, p < 0.0001$)있고, 암모니아태 질소는 수분조건과 일차적인

상관관계($r^2 = 0.63, p < 0.0001$)가 있음을 알 수 있다. Fig3, 4에서도 비슷한 결과를 알 수 있다. 토양수분이 field capacity (W0) 상태일 때는 암모니아태 질소나 질산태 질소의 흡착이 거의 일어나지 않음을 알 수 있다.

Pot실험의 결과 resin bags은 식물과의 경쟁에서 경쟁력이 매우 약한 것으로 밝혀 졌다 (Binkley, 1984). 식물체가 없는 pot의 resin bag은 1.79 mg의 질소를 흡착한 반면 식물체가 있는 pot의 resin bag은 0.02 mg의 질소만을 흡착 하였다. 암모니아태 질소의 경우 전자는 0.1 mg을 흡착한데 비해 후자의 경우는 전혀 흡착이 되지 않았다. 식물체의 질소함량은 resin bag 존재 여부에 아무런 영향을 받지 않았다(7.08 mg of N/pot without resin bags, and 6.91 mgN/pot with resin bags). Resin bag에 첨가한 $^{15}\text{NH}_4$ 는 60 일간의 배양기간 동안에 전혀 손실되지 않았다.

이상의 실험결과를 통해 resin bags에 의한 ion의 흡착에는 ion mobility와 transport가 중요함을 알 수 있다. 식물의 뿌리에 공급되는 영양염류의 양도 이온의 mobility와 transport에 의해 결정되기 때문에 resin bag method는 질소 이용도를 측정하는 유용한 방법이 될 수 있다. 그러나 아직은 정량적인 측면에서 해결되어야 할 문제들이 많다. 따라서 resin bag method로 측정된 질소 이용도 지수가 생태계의 물질생산이나 영양염류 순환과 어떤 관계가 있는지를 현재 조사 중에 있다.

2) Kangaroo rat mound의 결과

Jornada Long Term Ecological Research site에는 다수의 Kangaroo rat mound들이 흩어져 있다. 설치류의 토양 교란에 의해 형성된 이러한 mound들은 주변의 토양과 물리적 성질이 현저히 다르다. 또한 mound의 식생은 종조성이나 물질생산 면에서 주변인 intermound와 현저한 차이를 보이고 있다

(Moroka *et al.* 1982). 이러한 차이를 유발시키는 원인을 규명하기 위하여 mound와 intermound간의 토양의 무기질소 이용도 및 Water potential의 변화를 비교하였다. Resin bags은 토양속에 두달 동안 incubation 시켰다.

Fig.5는 mound에서의 암모니아태 질소와 질산태 질소 이용도의 변화를 나타낸 것이다. Winter annuals가 발아하여 성장함에 따라 질산태 질소의 감소 현상을 볼 수 있다. 우기의 시작과 더불어 암모니아태 질소의 증가가 두드러지는데, 이는 토양수분의 증가에 따른 nitrogen mineralization의 증가 때문인 것으로 생각된다. 이상의 결과에서 토양의 무기질소 생성량이 토양의 물리적인 상태, 수분조건, 식물의 성장과 유관함을 알 수 있다.

4. 논 의

Ion-exchange resins은 이온을 흡착하는 면에서 볼 때 식물의 뿌리와 비슷한 기능을 갖고있다(Smith,1979).Resin bag이 흡착하는 음이온이나 양이온의 양은 종래의 토양 추출액에 들어있는 양이나 식물의 성장과도 상관이 높고, 자연 상태의 토양 조건을 그대로 반영하는 것이기 때문에 토양이 식물체에 공급하는 영양염류의 양 또는 토양의 영양염류 이용도를 나타내는 측정치로 사용할 수 있다.

유효 인산의 경우, 토양속에 Fe이나 Al,또는 유기물 함량이 높으면 추출용액을 사용할 때 많은 간섭효과가 있지만 음이온 흡착수지를 사용할 경우 이러한 문제점들이 없다. 토양교란을 최소화하고, 조사지소의 미소환경조건을 잘 반영할 수 있으며, 과정이 간 편하기 때문에 Ion-exchange resin bag method 는 토양의 영양염류 이용도, 영양염류의 공급량을 측정하는 실험에 폭넓게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

5. 인용문헌

1. Ball, D.F and Williams, W.M. 1986. Variability of soil chemical properties in two uncultivated brown earths. *J. of soil Science*, 19:379-391.
2. Binkley, D. 1984. Ion exchange resin bags : factors affecting estimates of nitrogen availability. *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 48:1181-1184.
3. Binkley, D. and Matson, P. 1983. Ion exchange resin bag method for assessing forest soil nitrate availability. *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 47:1050-1052.
4. Eno, F. 1960. Nitrogen production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 24:277-279
5. Gibson, D.J., Colquhoun, I.A. and Greig-Smith, P. 1985. A new method for measuring nutrients supply rates in soils using ion-exchange resins. In "Ecological Interactions in soil" ed A.H. Fitter, D.Atkinson, D.J. Read and M.B. Usher. Blackwell Scientific Publications pp73-79.
6. Keeney, D.R. 1980. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems : a literature review. *Forest Science* 26:159-171.
7. Page, M.B., Smalley, J.L. and Talibudeen, O. 1978. The growth and nutrient uptake of winter wheat. *Plant and Soil* 49:149-160.
8. Rosswall, T. 1976. The internal cycle between vegetation, microorganisms, and soils. In " Nitrogen, phosphorus, and sulfur-global cycles ". ed B.H. Svensson and R. Soderlund. *Ecological Bulletins-NFR* 22:157-167.
9. Sibbensen, E. 1977. A simple ion-exchange resin procedure for extracting plant available elements from the soil. *Plant and Soil* 46:665-669.
10. Smithe, V.R. 1979. Evaluation of a resin-bag procedure for determining plant available P in organic volcanic soils. *Plant and Soil* 53:245-249.
11. Vitousek, P.M. and Matson, P.A. 1985. Disturbance, nitrogen availability, and nitrogen losses in and intensively managed loblolly pine plantation. *Ecology* 66:1360-1376.

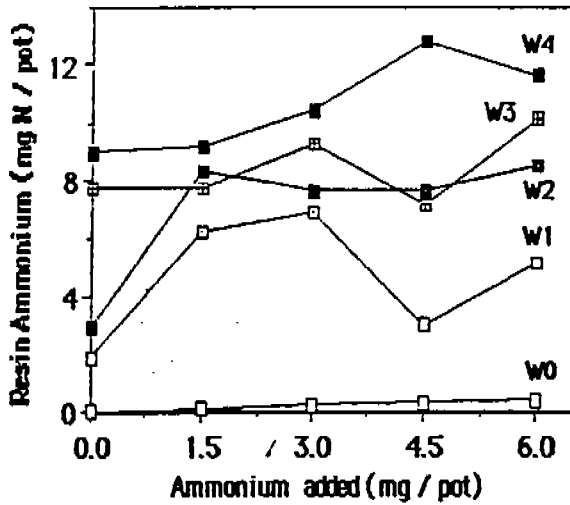


Fig. 1. Resin ammonium accumulation in the fumigated soil as a function of ammonium regime. W_0 = field capacity, W_1 = W_0 plus 50mL/pot on day1, W_2 = W_1 plus 50 mL/pot on day 30, W_3 = W_2 plus 50 mL of recycled leachate on days 15, 30, and 45, W_4 = W_1 plus weekly waterings with leachate at 40 to 50 mL/pot.

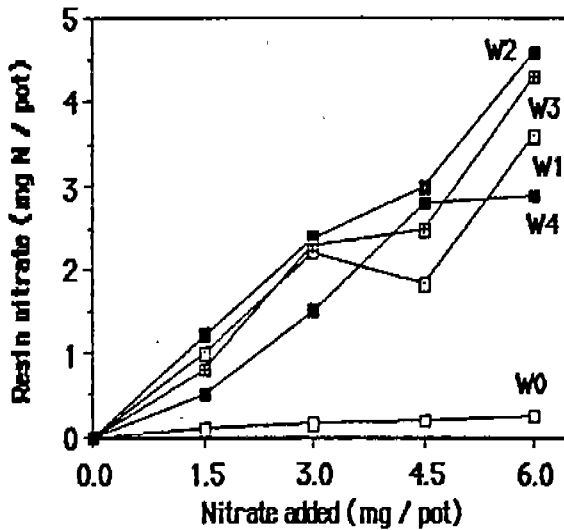


Fig. 2. Resin nitrate accumulation in the fumigated soil as a function of nitrate regime. Legends are the same as Fig. 1.

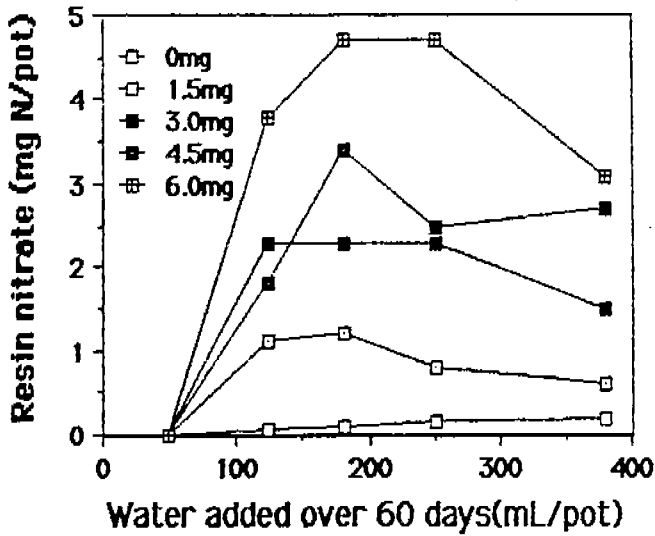


Fig. 3. Resin nitrate accumulation in the fumigated soil as a function of water regime.

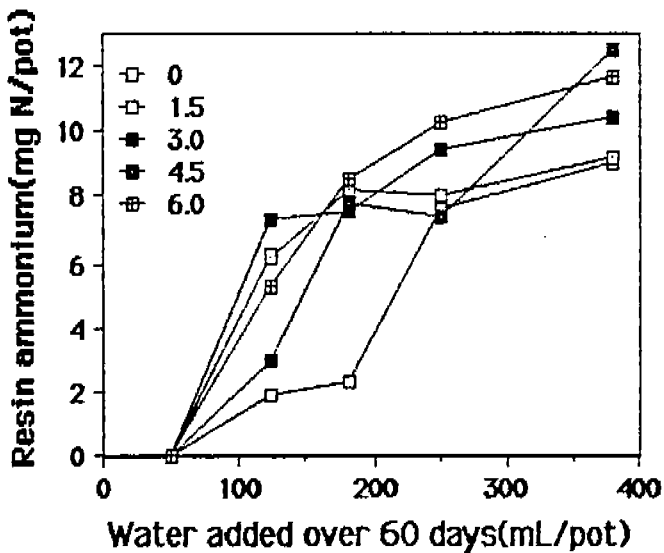


Fig. 4. Resin ammonium accumulation in the fumigated soil as a function of water regime.

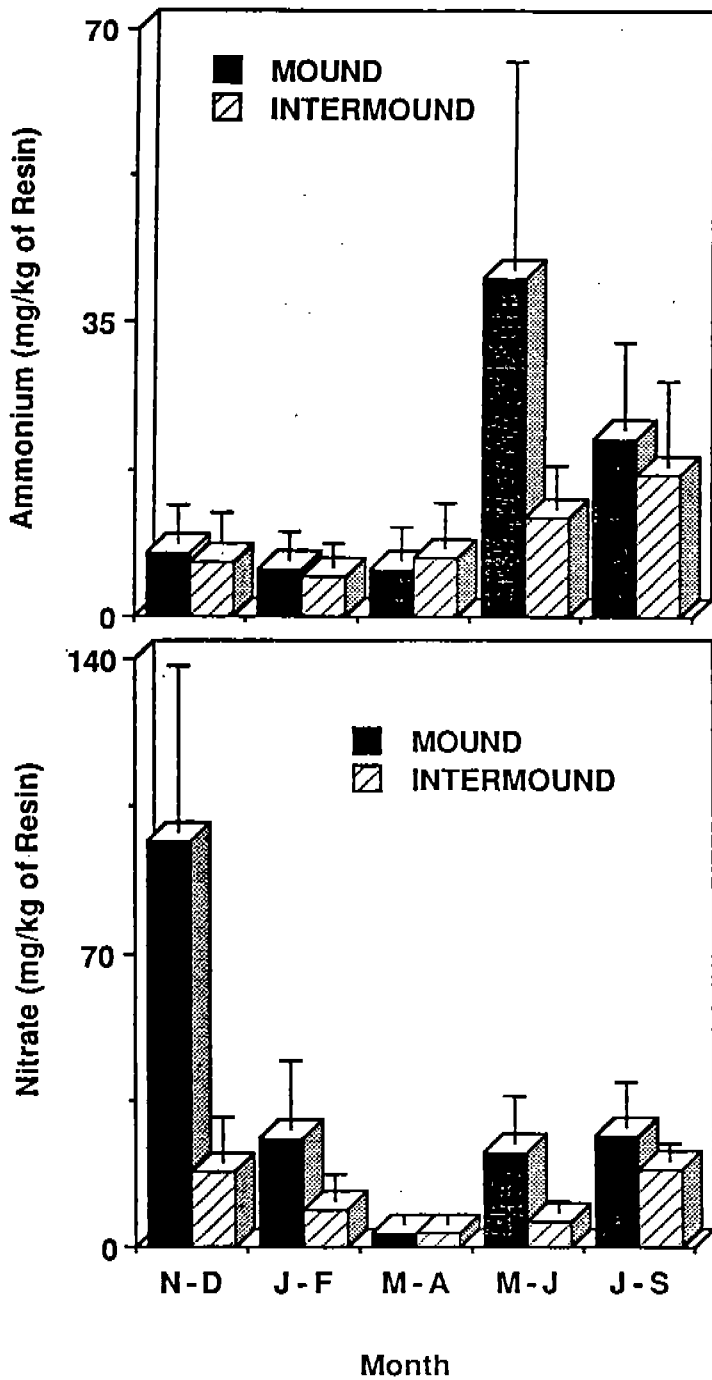


Fig. 5. Seasonal patterns of resin nitrate and resin ammonium on and off mounds.