한국생태학회지 22 (1) : 7~11, 1999 Korean J. Ecol.

미국자리공의 근권 토양산성도의 변화

박용목 · 박범진 · 최기룡*
청주대학교 이공대학 생물학과, 울산대학교 자연과학대학 생물학과*

적 요: 환경오염과 관련하여 제안된 미국자리공의 분포확대가 토양의 산성화와 나아가서는 사막화를 가져온다는 가설을 실험적으로 확인하여 그 실체를 밝히고자 울산과 청주를 대상으로 미국자리공 군락에서의 근권 토양산성도를 측정하였다. 측정한 장소 중에서 청주의 부모산을 제외한 울산의 신선산, 돗질산 그리고 봉대산은 pH가 5.0 이하로 5.25와 5.33의 범위에서 변화한 청주의 부모산의 근권토양보다 강한 산성을 나타내었다. 그러나 봉대산을 제외하고는 식물체의 축을 중심으로 수평적으로나 수직적으로나 근권산성도에 유의차가 보여지지 않았다. 반면, 울산의 봉대산에서는 뿌리를 중심으로 수평적으로는 근권산성도가 변하지 않았지만 지표면 토양이 그 아래 토양보다 높은 산성도를 나타내었다. 이것은 일반적인 토양산성도의 패턴과 반대 현상으로, 지표면이 더욱 산성이라는 것은 지상환경의 오염, 즉 대기오염과 관련이 있다는 것을 나타내 주고 있다. 또한 이러한 사실은 미국자리공의 생장과정에서도 근권 토양산성도가 거의 변하지 않았던 모델실험 결과와도 잘 부합되었다. 따라서 미국자리공이 토양을 산성화시킨다는 가설은 다시 한번 고려되어야 할 것이다.

검색어: 공단지역, 근권, 대기오염, 미국자리공, 토양산성도, 토양산성화.

서 론

생물은 항상 주위의 환경요인의 영향을 받고 반응하며 생활하고 있으며, 각각의 종은 이러한 환경요인에 반응하는 고유의 내성범위를 가지고 있다. 특히, 고착생활을 하는 식물에 있어서는 이들 환경요인의 영향과 내성의 범위는 식물의 생존에 결정적 역할을 하고 있다. 따라서, 기후조건이 다른 곳에서는 식물종의 분포가 달라지며 그 결과 기후조건에 상응하는 식생의 형태가 나타난다(Miles 1979, Woodward 1987). 그러나 같은 식생형에서도 미환경 조건에 대한 식물의 적응 정도에 따라 국지적으로 식물분포의 차가 생겨난다. 그러므로 어떤 지역에서의 식물분포의 변화는 식물에 영향을 미치는 환경요인을 파악하고 이 요인에 대한 식물의 반응을 정량화함으로써 해석할 수 있으며(Dean and Smith 1979, Park 1989, Walter 1979, Woodward 1987), 이러한 식물분포의 변화 기작을 밝히는 것은 개개의 식물종의 분포나 군집수준의 종조성 특이성을 이해하는데 기초가 될 뿐만 아니라 식물 군집 동태나 식생형 결정 기작을 밝히는데도 중요한 역할을 한다(Delcourt *et al.* 1983).

미국자리공은 1980년 전국의 19곳에서 생육하고 있는 것이 보고된 이래 최근 들어 그 분포가 확대되어 가고 있는 것이 알려지고 있으며, 이러한 미국자리공의 분포확대가 환경오염과 관련되어 있다는 몇 가지의 가설이 제안되고 있다(동아일보 1993, 임과 전 1980). 그 중의 하나가 미국자리공이 토양을 산성화시켜 타 식물을 죽이고 자신도 소멸되어 사막화를 초래한다는 가설이다(동아일보 1993). 만일 이 가설이 사실이라면 미국자리공이 생육하는 서식지에서는 종다양성이 파괴되어 생태계의 큰 혼란을 초래할 지도 모르는 일이다. 따라서 미국자리공의 생태적 성질과 분포확대 특성을 파악하여 이에 대한 대책을 마련할 필요가 있다. 그러나 미국자리공의 분포확대에 대한 체계적이고 정량화된 실험적 연구가 없어 그 실체가 확실하게 밝혀져 있지 않을 뿐만 아니라 더욱이 가설에 대한 정밀한 실험적 검증도 이루어져 있지 않은 실정이다. 그러므로 미국자리공의 분포확대에 대한 기작을 밝히고 그 대책을 마련하기 위해서는 우선 미국자리공이 토양을 산성화시키는가 아닌가에 대한 실험적 검증이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 환경오염에 의한 분포확대와 토양산성화로 논란이 되고 있는 미국자리공의 토양산성화 가능성을 실험적으로 검증하여 미국자리공 분포확대 기작과 관련한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

연구재료 및 방법

야외에서의 토양산성화

야외조사는 환경오염이 심하고 미국자리공의 분포가 확대되어 가는 곳으로 알려진 울산의 3 장소(신선산, 돗질산, 봉대산)와 울산에 비해 비교적 환경오염이 적으면서 미국자리공이 분포하고 있는 것으로 알려진 청주의 부모산을 대조구로 선택하였다. 이들 산은 모두 해발이 250 m 이하의 비교적 낮은 야산으로, 부모산은 소나무(*Pinus densiflora*)와 상수리나무(*Quercus acutissima*)가 우점종으로 고목층을 형

본 연구는 한국과학재단 핵심전문 연구비 (951-0505-030-2) 지원으로 수행되었슴.

성하고 신선산은 소나무가 고목층을 형성하고 있으며 임상에는 졸참나무(*Q. serrata*), 상수리나무 등의 치수들이 자라는 천이 중간상의 비교적 잘 관리되고 있는 숲이었다. 반면, 울산의 석유화학단지 주변의 돗질산과 봉대산은 아까시나무(*Robinia pseudo-acacia*)와 억새(*Miscanthus sinensis*), 미국자리공이 우점하는 장소로 식생이 심하게 파괴되어 있었으며 식물체가 고사되거나 잎이 군데군데 갈색으로 말라죽은 사방오리나무(*Alnus firma*), 졸참나무 등이 분포하고 있는 곳이다. 김 등(1997)의 분류에 따르면 신선산과 부모산의 토양은 갈색 산림토에 속하는 반면, 봉대산과 돗질산의 토양은 적황색 산림토에 속한다.

1995년 8월 이들 서식지에서 미국자리공이 비교적 집단으로 분포하는 70곳을 선택하여 낙엽층을 걷어낸 후, 지하 0~5 cm, 5~10 cm의 두 깊이에서 식물체의 축으로부터의 거리에 따라 0~5 cm, 5~10 cm, 10~15 cm, 15~20 cm의 간격으로 토양을 채취하여 밀봉하고 이것을 아이스박스 속에 넣어 실험실로 운반한 후 토양과 증류수를 1:2.5로하여 1시간동안 진탕시켜 상등액을 걸러내고 pH meter (HM-11P, TOA Electronics Ltd, Japan)를 이용해서 토양 pH를 측정하였다.

생장에 따른 근권 토양의 pH 변화

미국자리공의 생장에 따른 토양의 pH 변화를 추적하기 위하여 4℃의 cold chamber에서 4 주간 저온 · 고습처리한 종자를 온실에서 발아시키고 잎이 두 장 나왔을 때 깊이 5 cm, 직경 7 cm의 플라스틱 화분 112개에 이식시켰다. 이 화분에는 하천모래를 1 mm의 체로 친 후 수돗물로 씻어 채웠으며, 식물체 이식 3개월 후에 영양염 처리를 실시하여 생장에 따른 토양 pH의 변화를 추적하였다. 영양염의 처리 시작 전 까지 Epstein의 기본영양액(Epstein, 1972)을 각 포트당 20 ml씩 6회에 걸쳐서 주었으며, 이 때의 영양액 조성은 다음과 같다 : N, 224; K, 235; Ca, 160; P, 62; S, 32; Mg, 24; Cl, 1.77; B, 0.27; Mn, 0.11; Zn, 0.131; Cu, 0.032; Mo, 0.05; Fe, 1.12 mg/l. 전 실험을 통하여 물은 하루에 한번 충분히 주었다. 영양염의 처리를 위하여 물만 준 대조구, 기본영양액의 1/2 농도의 1/2N구, 기본영양액을 준 1N구, 기본영양액의 두 배의 농도로 영양액을 공급한 2N구로 화분을 나누어 각 처리구 당 각각의 용액을 20 ml씩 2일에 1회씩 공급하였다. 영양처리 시작 후 7일 간격으로 4회에 걸쳐 식물체를 수확하고 토양을 채취하여 상기의 측정방법에 따라 토양 pH를 측정하였다. 실험은 1996년 10월부터 4개월에 걸쳐서 온실에서 행해졌으며 습도와 광도는 조절하지 않고 온도만 25 ± 3℃로 조절하였다.

결과 및 고찰

Fig. 1과 Fig. 2는 야외에서 서식하고 있는 미국자리공의 뿌리 축으로부터의 거리에 따른 근권 토양의 pH 변화를 나타내고 있다. 조사지점 중에서 비교적 대기오염이 적은 청주 부모산의 미국자리공 근권 토양에서는 pH가 5.25~5.33의 범위의 값을 나타내었는데 비하여 울산지역은 3군데 모두 pH 5.0 이하를 나타내었다. 이것은 울산지역의 토양이 청주지역의 토양에 비해 산성화가 진행되었음을 시사하고 있다. 또한 울산지역내에서는 봉대산 지역이 신선산과 돗질산에 비해 높은 토양산성도를 나타내었다. 미국자리공 근권의 산성도의 수평적, 수직적 변화를 보면 조사지 모두에서 뿌리의 주축에서부터 거리에 따른 pH 변화는 유의차를 보이지 않았으며, 지표면(지하 0~5 cm) 토양과 지표면 바로 아래층 토양(지하 5~10 cm)에서의 pH 변화도 봉대산을 제외한 3곳 모두에서 차가 보여지지 않았다(Figs. 1, 2). 그러나 봉대산에서는 pH의 수직적 분포에 차이를 나타내어 지표면 토양이 그 아래층 토양에 비해 높은 산성도를 나타내었다(Fig. 1). 이 결과는 뿌리의 기부에서 근권 토양의 pH가 높고 뿌리의 정단으로 갈수록 낮아진다는 일반적인 가설(Romheld and Marschner 1984)에 상치되는 결과로 미국자리공이 타 식물에 영향을 줄 정도로 토양을 산성화시키지 않는다는 것을 시사하는 것이다. 왜냐하면 만일 미국자리공의 뿌리가 많은 산성물질을 분비한다면, 미국자리공의 뿌리 중심에서부터 멀어짐에 따라 토양 pH가 올라가야 하며, 생육이 왕성한 뿌리가 많은 지하 5 cm

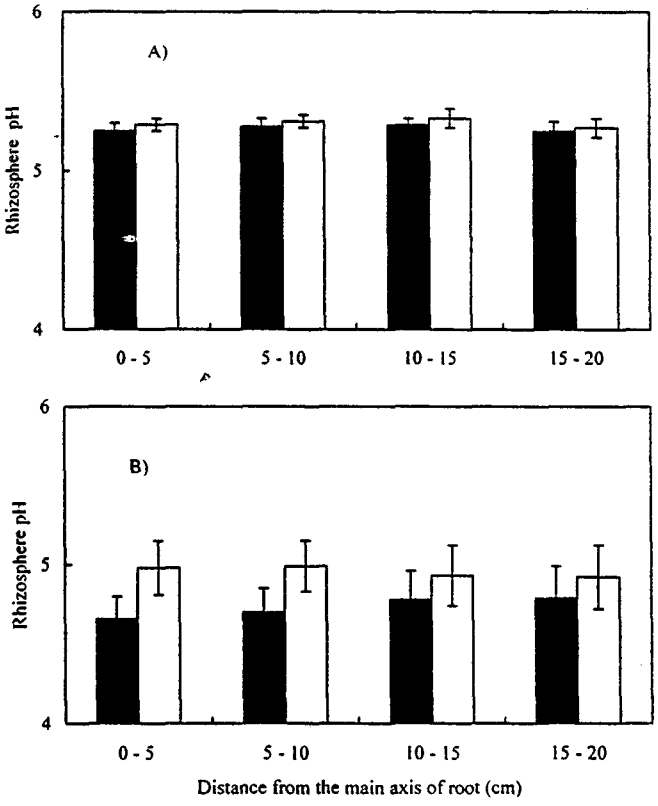

Fig. 1. pH changes in the rhizosphere soil of pokeberry with soil depth and distance from the main axis of root at Mt. Boomo(A) of Chongju city and Mt. Bongdae(B) of Ulsan city. ■, Top soil(0~5 cm in depth); □, subsoil (5~10 cm in depth). Each short bar represents a standard error.

에서 10 cm 사이에서의 토양이 지표면에서 지하 5 cm까지의 토양보다 pH가 더욱 낮아야 할 것이다. 토양의 pH는 뿌리로 부터 H^+이나 HCO_3^-의 방출과 재흡수 그리고 유기탄소나 이산화탄소의 방출과 원래 토양의 pH와 토양의 완충능력에 따라 변화한다(Marschner 1991, Marschner and Romheld 1983, Marschner *et al.* 1986, Marschner *et al.* 1991, Warembourg and Billes 1979). 또한 뿌리에 의한 근권의 pH 변화는 토양 pH 5.0~6.0 사이에서 가장 크며 토양 pH가 그보다 낮거나 높을 때는 식물체에 의한 근권의 pH 변화는 훨씬 적다는 것(Nye 1986, Schaller 1987)을 감안할 때 부모산을 제외하고 근권의 토양산성도가 pH 5.0 이하를 나타낸 조사지역에서 미국자리공이 토양을 산성화시킨다는 것은 설명하기 힘든 부분이다. 그리고 미국자리공이 다른 식물의 생육을 저해할 정도로 토양을 산성화시킨다면 근권 토양 pH의 변화는 어떤 패턴을 나타낼 것이 예상되며 생육과정에서도 어떤 변화가 보여짐에 틀림없다. 그러나 토양의 pH 변화를 좀 더 정확하게 파악하기 위해 영양조건을 달리하여 실시한, 적은 토양 용량의 모델실험에서도 근권 토양 pH가 거의 변하지 않아 야외에서의 실험결과를 재확인시켜 주었다(Fig. 3). 따라서 이들 결과를 종합해 볼 때 미국자리공의 근권 토양을 산성화시키는 물질의 근원은 미국자리공 이외에 있는 것으로 사료된다. 식물체 이외에 토양을 산성화시키는 요인으로서는 대기오염에 의한 산성강하물의 영향을 생각할 수 있다. 대기의 산성강하물 대부분은 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx)에서 유래하며, 따라서 화석연료를 사용하는 공업단지 주변이나 대도시 등에서는 이들 산성강하물이 식물체에 영향을 미칠 뿐만 아니라 토양의 산성화를 초래하여 삼림쇠퇴를 일으키기도 한다(Matzner 1986, Sivering *et al.* 1989). 우리 나라의 경우에도 서울을 비롯하여 대도시와 공단 주변에 대기오염에 의한 산성비가 내리고, 산성비에 의해서 소나무림이 쇠퇴한다는 보고가 있다(류 1994). 실제로 울산의 지역 별 대기 오염물질 농도를 비교해 보면, SO_2를 제외한 다른 성분은 유의 차를 보이지 않았으나 SO_2 농도에서 차이를 나타내었으며, 그 중에서도 봉대산 주변지역이 울산의 타 지역보다 특이하게 높아 위의 사실을 뒷받침해 주고 있다(울산광역시 1997). SO_2는 화산폭발시나 정유공장, 화력발전소의 화석연료 연소시에 생성되어 건성강하물이나 산성비와 같은 습성강하물의 형태로 식물이나 토양에 스며들어 토양을 산성화시키고 식물체에 여러 가지 영향을 미치고 있다(Freedman 1992, Lindberg 1992). 이들 사실로 미루어 볼 때 봉대산에서 미국자리공 근권 토양의 pH가 가장 낮았던 것은 봉대산 주변의 대기환경, 특히 SO_2 환경에 의한 것으로 사료된다. 따라서 이 실험결과로 볼 때 미국자리공이 토양을 산성화시켜 사막화시킨다는 가설은 재검토되어야 한다고 사료된다.

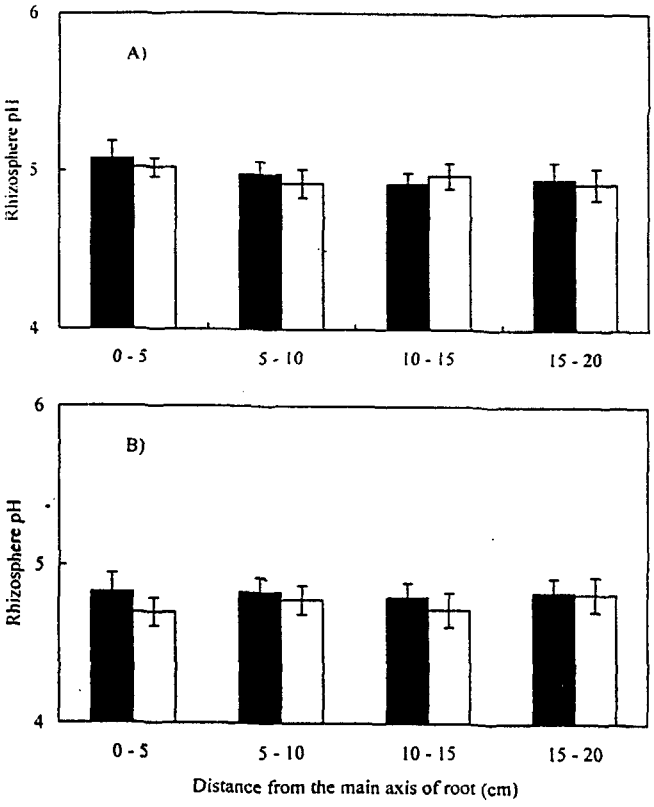

Fig. 2. pH changes in the rhizosphere soil of pokeberry with soil depth and distance from the main axis of root at Mt. Totchil(A) and Mt. Sinsun(B) of Ulsan city. ■, Top soil(0~5 cm in depth); □, subsoil(5~10 cm in depth). Each short bar represents a standard error.

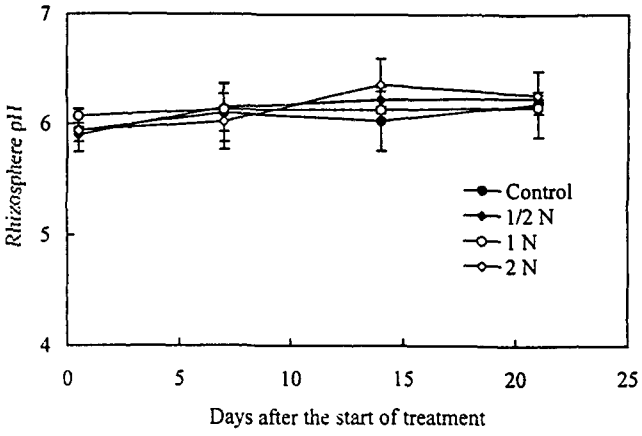

Fig. 3. pH changes in the rhizosphere soil of pokeberry cultured with varying nutrient solution. ●−●, Control; ◆−◆, 1/2N; ○−○, 1N; ◇−◇, 2N. Each point indicates the mean(±SE) of seven replicates.

인용문헌

김종원, 백원기, 이율경, 이은진, 오장근, 정용규. 1997. 식생평가 지침. "제 2 차 자연환경 전국 기초조사 지침작성 최종보고서"에서, 자연보존협회, pp. 259-322.

동아일보. 1993년 10월 5일.

류태철. 1994. 수도권 지역에서 산성강하물에 의한 리기다소나무림 쇠퇴의 기구와 회복. 서울대학교 박사학위논문, 219 p.

울산광역시. 1997. 울산광역시 환경오염조사 및 환경 중기 종합계획 수립.

임양재, 전의식. 1980. 한반도의 귀화식물 분포. 한국식물학회지 23: 69-84.

Dean, J.M. and A.P. Smith. 1979. Behavioral and morphological adaptation of a tropical plant to high rainfall. Biotropica 10: 152-154.

Delcourt, H.R., P.A. Delcourt and T.I. Webb. 1983. Dynamic plant ecology: The spectrum of vegetational change in space and time. Quaternary Science Review 1: 153-175.

Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plant; Principles and perspectives. Eiley, New York. 477 p.

Freedman, B. 1992. Environmental Ecology. Delhousie University Press, Halifax. 424 p.

Lindberg, S.E. 1992. Atmospheric deposition and canopy interactions of sulfur. *In* Johnson, D.W. and S.E. Lindberg(eds.), Atmospheric Deposition and Forest Nutrient Cycling. Springer-Verlag, New York. pp. 74-149.

Marschner, H. 1991. Mechanism of adaptation of plants to acid soils. Plant Soil 134: 1-20.

Marschner, H., M. Haussling and E. George. 1991. Ammonium and nitrate uptake rates and rhizosphere-pH in non-mycorrizal roots of Norway spruce. Trees 5: 14-21.

Marschner, H. and V. Romheld. 1983. *In-vivo* measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface. Z. Pflanzenphysiol. 111: 241-251.

Marschner, H., W.J. Horst, P. Martin and V. Romheld. 1986. Root-induced changes in the rhizosphere: Importance for the mineral nutrition of plants. Z. Pflanzenernaehr. 149: 441-456.

Matzner, E. 1986. Deposition/canopy-interactions in two forest ecosystems of northwest Germany. *In* Georgii (ed.), Atmospheric Pollutants in Forest Areas. Reidel Publishing Company, Dordrecht. pp. 247-262.

Miles, J. 1979. Vegetation dynamics. Outline studies in ecology, Chapman & Hall, London. 398 p.

Nye, P.H. 1986. Acid-base changes in the rhizosphere. *In* B. Tinker and A. Lauchli(eds.), Advances in Plant Nutrition. Vol. 2. Praeger Scientific, New York. pp. 129-153.

Park, Y.M. 1989. Factor limiting the distribution of *Digitaria adscendens* and *Gtalic* on costal sand dunes in Japan. Ecol. Res. 4: 131-144.

Romheld, V. and H. Marschner. 1984. Plant-induced pH chnages in the rhizosphere of "Fe-efficient" and "Fe-inefficient" soybean and corn cultivars. J. Pl. Nutr. 7: 623-630.

Schaller, G. 1987. pH changes in the rhizosphere in relation to the buffering of soils. Plant Soil 97: 439 -444.

Sievering, H., J. Boatman, M. Luria and C.C. Vanvalin. 1989. Sulfur dry deposition over the western north Atlantic: the role of coarse aerosol particles. Tellus 41B: 338-343.

Walter, H. 1979. Vegetation of the earth and ecological systems of the geo-biosphere, Springer-Verager, New York. 380 p.

Warembourg, F.R. and G. Billes. 1979. Estimating carbon transfers in the plant rhizosphere. *In* J.L. Harley and R.S. Russell(eds.), The Soil-Root Interface. Academic Press, London. pp. 183-196.

Woodward, F.I. 1987. Climate and Plant Distribution. Cambridge University Press, Cambridge.

(1998년 10월 23일 접수)

pH Changes in the Rhizosphere Soil of Pokeberry

Park, Yong-Mok, Bum-Jin Park and Kee-Ryong Choi*

Department of Biology, Chongju University

*Department of Biology, University of Ulsan**

ABSTRACT: The measurement of pH in the rhizosphere soil was conducted to clarify whether the growth of pokeberry plants affect the acidity of rhizosphere soil in two environmentally contrasting area Ulsan and Chongju city. The rhizosphere pH between 5.25 and 5.33 was shown in the pokeberry stand at Mt. Boomo located at Chongju. The rhizosphere pH of pokeberry stands at Mt. Bongdae, Mt. Sinsun and Mt. Totchil was below 5.0, and did not differ with depth and distance from the main axis of root. At Mt. Bongdae, however, the pH in the rhizosphere soil was significantly changed with soil depths though that was not changed horizontally. The rhizosphere pH at top soil was lower than that at subsoil, which indicates the fact that soil acidification at Mt. Bongdae was not caused by pokeberry plants. Furthermore, the rhizosphere pH did not change with the growth of pokeberry plants. These results indicate that the hypothesis that pokeberry plants acidify local soil environment should be reconsidered.

Key words: Air pollution, Industrial area, Pokeberry, Rhizosphere pH, Soil acidification.