

알루미늄 독성에 의한 전동싸리 유식물의 질소고정과 성장반응의 특성

박 태 규 · 송 승 달
경북대학교 생물학과
(1997년 11월 26일 접수)

Characteristics of Growth Response and Nitrogen Fixation of *Melilotus suaveolens* Seedlings treated with Al

Tae-Gyu Park and Seung-Dal Song

Dept. of biology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea
(Manuscript received 26 November 1997)

Effects of aluminium(Al), soil pH and calcium(Ca) on growth response and heavy metal accumulation and regulation of nitrogen fixation in *Melilotus suaveolens* seedlings, a biennial legume plant dominating in the disturbed area, were quantitatively analyzed during the growing periods. Accumulation of metals in each organ of *M. suaveolens* was increased with the lowering of pH. Al contents in leaf and root treated with 30ppm Al at pH 4.2 on the 28th day after treatment were 8 and 11 folds higher than those of control, while the contents with 100ppm Al were 21 and 24 folds as compared to control. The significant inhibition in Al contents was induced by 100ppm Al and Ca at pH 6.5. Increased metals inhibited height at pH 4.2 and the growth inhibition due to Al was reversed by the addition of Ca, suggesting that growth correlates to the pH value. Chlorophyll contents in leaves increased during growth stage were inhibited by Al treatments. The biomass was decreased with the lowering of pH and the increase of concentrations. 100ppm Ca treatment resulted in 5.1-5.9% increase of the biomass as compared to that of 100ppm Al. Specific nitrogen fixation activities in nodules in the 100ppm Al at pH 4.2 and pH 6.5 were reduced to 35.2% and 52.2% of control, on the 28th day after treatment, while the combination of Al and Ca induced inhibition of activities to 4.6% and 69.9% of control, respectively. Total amount of nitrogen fixation was reduced by 10% as compared to control with the treatment of 100ppm Al at pH 4.2 due to the inhibition of nodule formation. However the stimulative effect of nodule formation was enhanced by the combination of 100ppm Al and Ca and lowering of pH.

Key words : Aluminum, Ca, pH, growth response, nitrogen fixation

1. 서 론

급속한 공업화에 의해 산업폐기물과 오폐수 등이 증가됨에 따라 생성된 각종 환경오염물질 중 중금속 물질은 생물체내에서 배출되지 못하고 농축되는 특성을 가지므로, 토양이나 수계에 유입될 경우 생산자에게 직접적 피해를 미치게 되고 먹이연쇄를 통해 생태계를 파괴하게 된다(Lagerweff, 1971).

지각의 15% 이상이 Al_2O_3 로 존재하는 알루미늄은 중성이나 알칼리성 토양에서는 용해도가 낮아 독성이 없으나, 산성비 등으로 pH가 5.5이하인 토양에서는 식물체의 이온흡수 및 성장을 저해하게 된다(Reid et al., 1971; Lafever et al., 1977). 알루미늄의 식물체에 미치는 독성증상은 처리시기와 기간에 따라 차이를 보이지

만(Maksymiec et al., 1994), 특히 토양 pH에 의해 크게 영향을 받는데(Parker et al., 1988), 높은 pH에서는 흡착된 중금속의 용출이 어려워 식물체내에서 이동량이 감소되는 한편(Harter, 1983), pH가 낮을수록 금속에 대한 민감도와 성장저해가 심각하게 나타났다(Edmeades et al., 1991; Wheeler et al., 1992). 알루미늄 독성은 일차적으로 뿌리생장의 억제(Wilkins, 1978)와 성장감소(Macleod and Jackson, 1965)를 초래하였으며, Al은 Ca와 경쟁적으로 흡수되었고, Mg의 흡수 등 영양염 흡수를 저해하였으며(Wheeler et al., 1992). 알루미늄에 대한 내성은 식물종간과 종내에서 다양하게 반응하였다(Foy et al., 1978; Baligar et al., 1989).

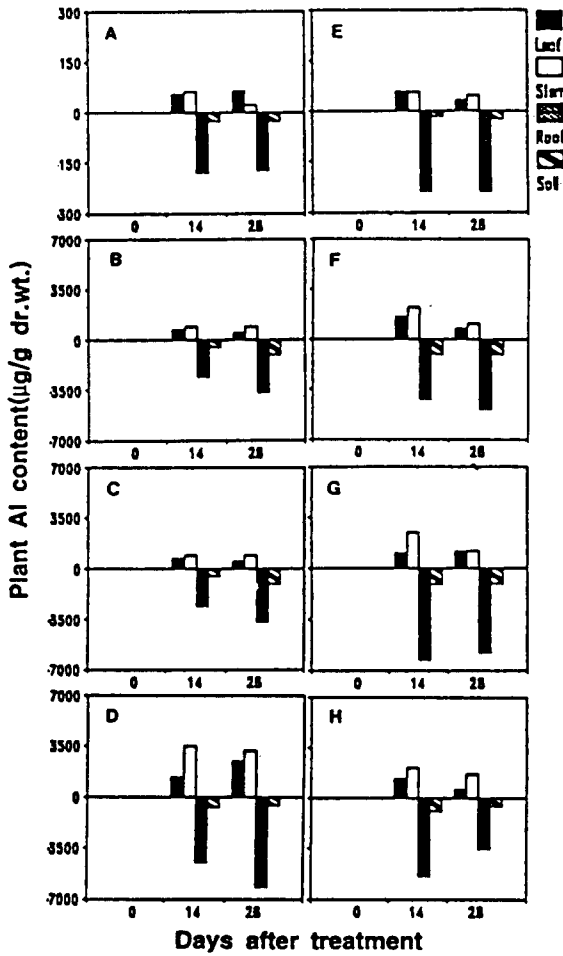


Fig. 1. Accumulation of Al in the roots, stems and leaves of *M. suaveolens* seedlings treated with 0(A, E), 30(B, F) and 100ppm (C, G) Al and 100ppm Al+100ppm Ca(D, H) by pH 4.2(A, B, C, D) and pH 6.5(E, F, G, H).

심각한 중금속 독성을 해독하기 위한 연구로 석회를 이용한 식물체내 금속이온 축적과 이행의 감소에 관한 연구(Bingham *et al.*, 1980)에서 Ca는 산성토양의 pH를 증가시켜 중금속의 이용성을 감소(John *et al.*, 1972) 시켰으며, Ca농도는 식물에 따라 차이를 보였다(Alva *et al.*, 1986). 환경문제가 더불어 파괴된 생태계에 대한 관심이 고조되면서 토양환경의 개선과 관련하여 식물체를 이용하는 방안이 대두되고 있다(Wong and Bradshaw, 1982). 콩과식물은 생태계가 파괴되고 오염된 지역에서 일정한 생태적 입지를 나타내므로(고강석과 배정오, 1994; 朴泰圭, 1996), 환경스트레스에 대한 콩과식물의 적응에 대한 연구는 중요한 과제라 할 수 있다.

이에 파괴된 생태계에서 개척식물로 나타나는 전동싸리 유식물을 재료로 토양 산성화와 더불어 주요 토양오

염원이 되고 있는 알루미늄을 pH 4.2와 6.5로 처리하였을 때 유식물의 생장반응과 식물체내 중금속의 축적 정도 및 근류의 질소고정 작용의 변화를 분석하는 한편, Ca를 복합처리하였을 때 Al의 독성완화에 대한 식물체 반응의 특성을 밝히고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 식물체의 생육조건과 중금속처리

2년생 콩과식물의 일종인 전동싸리(*Melilotus suaveolens* Ledeb.) 종자를 1995년 7-8월에 대구(大邱, 韓國)지역 자생지에서 채종하여 30℃ 항온기에서 48시간 발아시켜 직경 18 cm, 높이 20 cm 화분에 5개 채씩 이식하여 생장실에서 사경재배(모래:버미큘라이트=3:1)를 실시하였다. 생장실의 광도와 광주기는 20,000 lux, 명암 14/10 시간으로 조절하였고, 온도와 상대습도는 각각 25℃와 70%로 유지하였다. 식물은 pH 4.2와 6.5로 구분한 무질소 Hoagland 배양액을 화분당 주 2회 100 ml씩 공급하였고, Al처리는 2주간 사경재배한 전동싸리 유식물에 Al[Al₂(SO₄)₃(NH₄)₂SO₄]를 30 및 100ppm의 단독처리와 100ppm Al+100ppm Ca의 복합처리를 행하였다.

2.2 식물체의 생장과 중금속분석

식물체는 신장생장을 측정 한 후 DMSO(dimethyl sulfoxide)법으로 엽록소함량을 측정하여 Arnon식으로 환산하였고(Arnon, 1949), 뿌리를 세척한 식물체는 기관별로 분리하여 생체량을 측정 한 후 70℃ 건조기에서 3일간 건조시켜 건량을 측정하여 비교분석하였다. 중금속의 흡수와 축적량은 건조시료 1g을 정량하여 1N HNO₃로 추출한 후 Jobin Yvon Emission (JY 38 plus) 유도결합플라즈마(ICP, induced coupled plasma) 396.152nm 파장을 이용하여 Al 함량을 측정하였다(朴泰圭, 1996).

2.3 근류의 질소고정 활성의 분석

Al처리에 따른 전동싸리의 근류형성량은 식물체당 정량하였고, 질소고정 활성의 측정은 채집한 근류를 10 mL vial에 넣고 30℃에서 20분간 전처리한 후 아세틸렌(C₂H₂) 가스를 10% 용적으로 주입하여 1시간동안 처리하고 시료 0.5 mL를 채취하여 Porapak R Column (182 cm X 0.32 cm)을 이용한 Shimadzu 8A Gas Chromatograph에서 불꽃이온화 검출기(FDI)에 의해 환원된 에틸렌(C₂H₄)량을 정량하는 아세틸렌환원법을 사용하였다(Patterson *et al.*, 1979).

3. 결 과

3.1 중금속 물질의 흡수와 식물체내 전이

pH 4.2 및 6.5에서 Al과 Ca를 처리했을 때 각 기관별 중금속 함량의 축적은 Fig. 1에서와 같다. pH 4.2에서 Al처리 28일째 대조구의 잎, 줄기 및 뿌리의 중금속 축적량은 각각 62.7, 22.1 및 172.4 µg/g dr.wt.였고, 30ppm에서는 각각 489.6, 896.1 및 3668.9 µg/g dr. wt., 100ppm 처리시는 각각 707.5, 1079.3 및 4114.

Table 1. Changes in height(cm, mean value±SD) and chlorophyll content(mg chl. g fr. wt. leaf⁻¹, mean value±SD) in *M. suaveolens* seedlings treated with 30, 100ppm Al and 100ppm Al+100ppm Ca on the 14th or 28th days after treatment

Treatment	Height (cm, mean value±SD)					
	pH 4.2			pH 6.5		
	0	14th day	28th day	0	14th day	28th day
control	2.0±0.3	3.7±0.5	7.1±0.7	2.0±0.3	4.3±0.4	6.8±0.7
30ppm Al	2.0±0.3	3.2±0.4	6.2±0.6	2.0±0.3	4.2±0.4	6.2±0.6
100ppm Al	2.0±0.3	3.0±0.3	4.5±0.5	2.0±0.3	3.9±0.4	5.2±0.5
100ppm Al+Ca	2.0±0.3	3.2±0.3	5.0±0.5	2.0±0.3	3.7±0.3	5.1±0.5

Treatment	Chlorophyll content(mg chl. g fr. wt. leaf ⁻¹ , mean value±SD)					
	pH 4.2			pH 6.5		
	0	14th day	28th day	0	14th day	28th day
control	1.10±0.01	1.91±0.07	2.58±0.13	1.10±0.01	1.85±0.08	2.64±0.17
30ppm Al	1.10±0.01	1.90±0.10	2.14±0.16	1.10±0.01	1.42±0.11	2.38±0.17
100ppm Al	1.10±0.01	1.72±0.09	1.96±0.14	1.10±0.01	1.38±0.13	2.06±0.15
100ppm Al+Ca	1.10±0.01	1.42±0.11	1.84±0.15	1.10±0.01	1.15±0.10	2.08±0.16

Table 2. Changes of fresh weight(mg/plant, mean value±SD) in organ of *M. suaveolens* seedlings treated with 30, 100ppm Al and 100ppm Al+100ppm Ca

Treatment	control		30ppm Al		100ppm Al		100ppm Al + 100ppm Ca		
	0	14D	28D	14D	28D	14D	28D	14D	28D
	pH 4.2								
Leaf	11±0.9	36±3.5	152±12.4	26±2.8	94±9.5	25±3.0	63±6.5	31±3.4	81±8.5
stem	3±0.1	12±1.1	80±9.1	10±1.2	37±3.8	8±1.0	32±3.4	10±1.1	35±3.5
Root	5±0.2	13±1.1	28±3.1	7±0.7	21±2.0	6±0.8	17±1.9	10±1.1	20±2.1
Nodule	1±0.1	2±0.1	6±0.3	1±0.1	3±0.2	1±0.1	1±0.1	1±0.1	2±0.2

pH 6.5									
Leaf	11±0.9	32±3.3	147±15.1	29±2.7	78±8.0	24±2.2	61±6.0	26±2.7	72±7.6
stem	3±0.1	12±1.1	53±5.4	12±1.1	35±3.4	9±0.9	30±3.2	9±1.0	32±3.5
Root	5±0.2	14±1.2	29±3.2	12±1.3	34±3.3	10±1.1	23±2.4	10±1.2	23±2.7
Nodule	1±0.1	2±0.2	6±0.7	2±0.1	4±0.3	2±0.1	2±0.2	2±0.1	3±0.4

* D. days after treatment

1 µg/g dr.wt.였으며, 흡수된 중금속은 대부분이 뿌리에 축적되었다. pH 6.5 처리시에도 유사한 경향을 보였으나 pH 4.2에 비해 다소 높은 중금속 축적을 나타내었는데, 100ppm Al 처리시 잎, 줄기 및 뿌리에서는 각각 1125.2, 1177.9 및 5820.5 µg/g dr.wt.였다. 100ppm Al+100ppm Ca 복합처리시는 pH 6.5에서 100ppm Al의 단독처리구 보다 중금속함량이 감소되어 처리 28일째에서 잎, 줄기 및 뿌리의 순으로 각각 567.6, 1657.1 및 3916.4 µg/g dr.wt.로 Ca이 Al의 흡수를 억제하였다. pH 4.2에서는 Ca이 Al의 흡수를 억제하지 못함으로써 식물체내에서의 축적량이 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

3.2 알루미늄 처리에 의한 전동싸리의 생장반응

Al 처리에 의한 전동싸리의 신장생장은 Table 1에서 보는 바와 같이 처리 28일째에 pH 4.2에서 30 및 100ppm Al 단독처리구와 100ppm Al+100ppm Ca 처

리구에서 대조구에 비해 각각 86.8, 63.2 및 69.5%였고, pH 6.5에서는 각각 대조구의 91.6, 77.0 및 75.6%였다. Ca를 Al과 동시에 처리했을 때 pH 4.2에서는 Al 단독처리에 의해 억제되었던 신장생장이 다소 회복되었으나 pH 6.5에서는 큰 차이를 보이지 않았다. Al처리에 따른 엽록소함량의 변화는 Al농도가 증가됨에 따라 감소되는 경향을 나타내었으며, 30, 100ppm Al 및 100ppm Al+100ppm Ca 처리 28일째에 pH 4.2처리구에서는 각각 대조구의 82.7, 75.8 및 71.2%를, pH 6.5처리구에서는 90.0, 78.0 및 77.6%를 보여주었다. 이와 같은 결과에서 Al처리에 따른 엽록소함량의 감소가 뚜렷하게 관찰되었으며, Ca처리에 의해 엽록소함량은 증가되지 않았음을 알 수 있었다.

Al처리에 따른 유식물 각 기관별 생체량의 변화는 Table 2에서와 같다. pH 4.2에서 30, 100ppm Al처리구 및 100ppm Al+100ppm Ca 처리구에서 뿌리부위의 생체량은 처리 28일째에 각각 27.9, 21.3, 17.1 및

Table 3. Changes of F/C and T/R ratio on Al content and biomass of *Melilotus suaveolens* seedlings treated with 30 and 100ppm Al and 100ppm Al+100ppm Ca

Concentration (ppm)	T/R ratio				F/C ratio			
	Heavy metal		Biomass		Heavy metal		Biomass	
	Days after treatment							
pH 4.2	14	28	14	28	14	28	14	28
control	1.11	1.74	3.30	5.10	0.63	1.21	1.41	1.35
30ppm Al	1.19	0.93	3.56	4.80	0.59	0.32	1.35	1.15
100ppm Al	1.21	1.08	4.01	4.66	0.48	0.36	1.48	1.03
100ppm Al+Ca	1.49	2.26	3.15	4.76	0.48	0.65	1.31	1.09
pH 6.5	14	28	14	28	14	28	14	28
control	0.83	0.81	3.11	4.55	0.48	0.34	1.16	1.17
30ppm Al	1.49	0.67	3.16	3.37	0.62	0.32	1.21	1.11
100ppm Al	0.74	0.78	2.66	3.61	0.27	0.41	1.09	1.08
100ppm Al+Ca	0.81	1.02	2.57	3.49	0.37	0.26	1.04	1.09

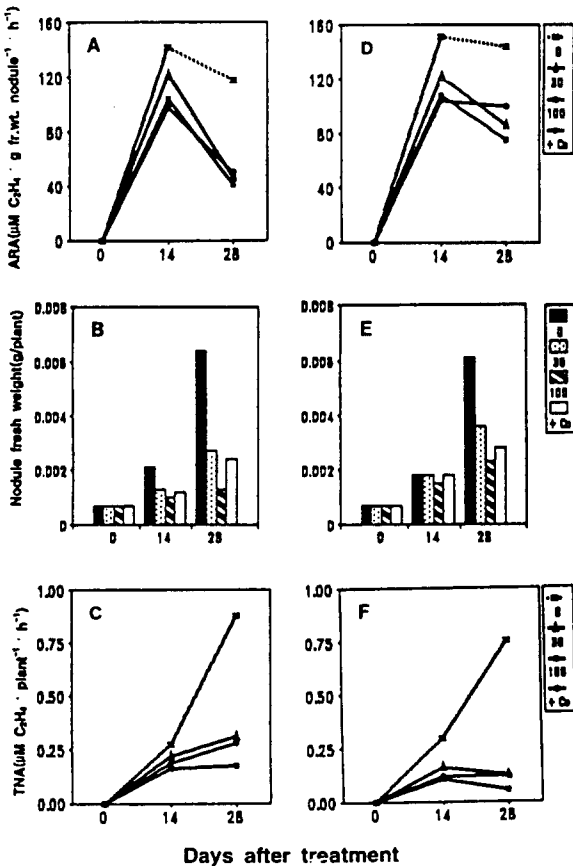


Fig. 2. Changes of specific nitrogen fixation activity (ARA; A, D), nodules fresh weight (B, E) and total nitrogen fixation activity (TNA; C, F) of *M. suaveolens* seedlings treated with 30 and 100ppm Al and 100ppm Al+100ppm Ca, respectively, by pH 4.2 (A, B, C) and pH 6.5 (D, E, F).

19.3 mg/plant였고, pH 6.5에서는 각각 29.3, 24.2,

22.5 및 22.9 mg/plant을 보여주었는데, 따라서 pH가 낮고 Al농도가 증가할수록 뿌리생장이 저해되었음을 알 수 있었다. Ca처리에 따른 뿌리생장의 회복은 pH 4.2에서 다소 높게 나타났다. 이와 같은 생체량값은 pH 4.2에서 각각 대조구의 54.7, 43.7 및 49.6%를, pH 6.5에서는 53.4, 46.0 및 51.1%를 나타내었으며, 이와같은 결과를 통해 Al농도가 증가하고 pH가 낮을수록 생체량의 감소가 뚜렷하였고, Ca처리에 비해 10% 내외로 생체량이 다소 증가하였음을 알 수 있었다.

식물체의 각 기관별 Al축적량과 지상부에 대한 지하부의 생체량의 비율(T/R ratio)과 광합성기관 및 비광합성기관의 비율(F/C ratio)은 Table 3에 나타난 바와 같다.

전동싸리 유식물의 지하부에 대한 지상부의 비율은 처리 28일째 30, 100ppm Al 및 100ppm Al+100ppm Ca처리구에서 pH 4.2의 경우 각각 4.80, 4.66 및 4.76였고, pH 6.5에서 각각 4.55, 3.37, 3.61 및 3.49였으며, 처리 28일째 광합성기관의 비율은 pH 4.2와 6.5에서 각각 1.03-1.35와 1.08-1.17로 Al처리농도가 증가할수록 T/R과 F/C비가 감소하였다. 중금속의 지상부에서의 축적비율은 처리 28일째의 30, 100ppm Al 및 100ppm Al+100ppm Ca처리구에서 pH 4.2의 경우 각각 0.93, 1.08 및 2.26이었고, pH 6.5에서는 각각 0.67, 0.78 및 1.02로, 흡수된 중금속의 지하부 축적비율이 높았고 지상부로의 이동은 감소하였다. 특히 광합성 기관으로의 이동은 처리 28일째 pH 4.2에서 30 및 100ppm Al 처리구에서는 각각 0.32 및 0.36 이었고, 100ppm Al+100ppm Ca처리구는 0.65로 증가되었으나, pH 6.5에서는 0.26으로 지상부로의 이동을 현저히 억제시켰다.

3.3 알루미늄 처리에 따른 근류형성과 질소고정 활성 Al처리에 따른 전동싸리 유식물의 질소고정 비활성, 근류형성량 및 총질소고정량은 Fig. 2에서와 같다. 질소고정 비활성은 30, 100ppm Al 및 100ppm Al+100ppm Ca 처리 28일째 pH 4.2에서 각각 대조구의 39.3, 35.2 및 42.6%였고, pH 6.5에서는 각각 대조구

의 59.9, 52.2 및 69.6%로 pH가 낮을수록 Al처리에 따른 활성억제가 현저하였고, Ca처리시 7.4-17.4%의 회복을 보였다. 근류형성량은 Al처리 28일째 pH 4.2에서 30, 100ppm Al 및 100ppm Al+100ppm Ca 처리구는 각각 대조구의 42.2, 20.3 및 37.5%였고, pH 6.5에서는 각각 대조구의 59.0, 37.7 및 45.9%로 100ppm Al 처리시 pH 4.2에서 근류형성이 현저하게 억제되었고, Ca와의 복합처리시 근류는 30ppm Al처리시와 유사한 수준으로 회복되어 Ca에 의한 Al의 독성완화 효과를 보여 주었다. 근류의 총질소고정 활성은 중금속 처리농도가 증가함에 따라 현저한 차이를 보여 Al처리 28일째 pH 4.2에서는 각각 대조구의 16.6, 7.2 및 16.0%였고, pH 6.5에서는 각각 대조구의 35.4, 19.7 및 31.9%를 나타내어 중금속 저해로 인한 총질소고정량의 감소는 pH가 낮을수록 현저하여 대조구의 10% 미만이었으며, 100ppm Al 처리구는 Ca와의 복합처리로 30ppm Al수준으로 회복되었다.

4. 고 찰

Al처리에 따른 전동싸리 유식물의 각 기관별 중금속 함량은 처리농도의 증가에 비례하여 증가되었으며, pH 4.2에서 30ppm Al 처리 28일째의 잎과 뿌리내에서의 중금속 함량은 각각 대조구의 8배와 21배, 100ppm Al 처리시는 각각 대조구의 11배와 24배였으며, 100ppm Al+100ppm Ca 처리시는 각각 대조구의 39배와 36배였다. 한편, pH 6.5에서 30ppm Al 처리구는 각각 대조구의 24배와 20배, 100ppm Al은 각각 대조구의 35와 24배였으며, 100ppm Ca를 복합처리한 경우는 각각 대조구의 18배와 16배로 나타나(Fig. 1), Ca가 pH 6.5에서는 Al의 흡수를 억제하였으나, pH 4.2에서는 Al의 흡수와 이동을 촉진시켰다. Al은 양이온과 경쟁적으로 흡수되는데(Asp et al., 1988), 알루미늄 독성을 제거하는데 필요한 Ca의 양은 pH에 따라 다르며, 식물종과 중금속에 따라서도 차이를 보였다(Alva et al., 1986). 또한 전동싸리 유식물은 Pb에 비해 Al이 쉽게 흡수되고 전이되는 것으로 나타났다(林泰圭, 1996).

H 4.2에서 Ca첨가시 신장생장이 다소 촉진되었는데(Table 1), Al의 성장저해는 pH와 밀접한 관련이 있다고 볼 수 있다(Parker et al., 1988). 엽록소함량의 변화는 유식물의 성장과 더불어 증가하였으나, pH 4.2에서 Al처리시 엽록소함량의 감소가 현저하였고, Ca와의 복합처리시에는 증가하지 않았다(Table 1). 이는 Cd처리시 20-30%의 엽록소함량 감소를 보인 것과 유사한데(Bazzaz and Govindjee, 1974), Wheeler 등(1992)은 Al이 양이온과 경쟁하여 식물체내의 Mg와 Ca를 감소시킨다고 했는데, 본 결과에서 Ca처리로 엽록소함량이 감소한 것과 유사한 결과였다. 생체량의 변화는 pH 4.2에서 30, 100ppm Al 및 100ppm Al+100ppm Ca 처리구는 처리 28일째 각각 대조구의 54.7, 43.7 및 49.6%를 나타내었고, pH 6.5에서는 각각 대조구의 53.4, 46.0 및 51.1%로, pH 4.2에서 생체량이 다소 감소하였다(Table 2). 생체량의 감소는 Al독성(Macleod and Jacson, 1965), Al제어를 위한 Ca의 결핍에 의한 결과

였으나(Tan et al., 1992), Ca처리에 따라 전동싸리의 생체량이 다소 증가함으로써 산성토양에서 Ca처리시 생산량이 15-20% 증가되었다는 사실과 유사하였다(Bekker et al., 1994).

전동싸리 유식물의 지하부에 대한 지상부의 비율은 광합성기관의 성장촉진으로 성장초기에 높은 값을 보였고, Al처리농도가 증가할수록 T/R과 F/C비는 감소하였다. 식물체내 중금속 축적량의 T/R비는 30ppm Al처리시 크게 감소하였고, 100ppm 처리시는 다소 증가되었다. pH 6.5에서 광합성기관의 중금속 축적비율은 Al농도의 증가에 따라 감소하였고, Ca의 동시처리에 의해 다소 증가하였다(Table 3).

질소고정 활성은 30, 100ppm Al 및 100ppm Al+100ppm Ca처리 28일째 pH 4.2에서 각각 대조구의 39.3, 35.2 및 42.6%였고, pH 6.5에서는 각각 대조구의 59.9, 52.2 및 69.6%로 pH가 낮을수록 Al처리에 따른 활성의 억제현상이 현저하였고, Ca처리로 인한 활성의 회복은 30ppm Al에서의 수준을 초과하였다(Fig. 2). 이는 Ca결핍으로 인해 질소고정 활성이 억제되었기 때문이라고 사료된다(Bekker et al., 1994). 근류형성량에 있어서 pH 4.2에서의 각 처리구는 대조구에 비해 16.6, 7.2 및 16.0%였고, pH 6.5에서는 각각 35.4, 19.7 및 31.9%로 Al처리농도가 증가하고 pH가 낮을수록 억제되었고, Ca처리시 근류형성의 회복은 pH가 낮을수록 촉진되었다. 근류는 측근축에서 형성되므로 근모의 발달과 밀접한 관련을 가지는데(Rao, 1977), Al은 근류의 감염부위를 감소시켜 근류형성을 억제하였는데(Kaser et al., 1975; Carvalho et al., 1982), 이와 같은 결과는 Al의 독성이 인산과 pH를 증가시키며 Ca처리로 Al 독성이 제거되었다는 Wood 등(1984)의 보고와 부합되었다. Al저해로 인한 질소고정량의 감소는 질소고정 비활성의 감소와 근류형성의 억제를 일으켰으며, pH가 낮을수록 현저하여 대조구의 10% 미만이었다. 이는 Al처리에 따른 질소고정 비활성의 감소와 근류형성의 억제로 인해 총 질소고정량이 감소한데 기인되는 것으로 사료된다.

5. 결 론

토양의 pH변화와 알루미늄 처리에 따른 전동싸리 유식물의 성장반응, 식물체내 Al축적과 질소고정 활성의 조절 및 Ca와의 복합처리로 인한 성장반응을 비교조사하였다. 식물체내 Al함량은 처리농도가 증가하고 pH가 낮을수록 증가하여 pH 4.2에서 30ppm Al처리 28일째의 잎과 뿌리의 중금속 함량은 각각 대조구의 8배와 21배였고, 100ppm Al처리시는 각각 대조구의 11배와 24배로 축적량이 증가되었고, Ca처리시 pH 6.5에서는 현저한 감소를 보였다.

신장생장의 변화는 Al 처리농도가 증가할수록 억제되었고, pH 4.2에서 Ca첨가시 신장생장이 다소 촉진됨으로써 Al에 의한 성장저해는 pH와 밀접한 관련성이 있었다. 엽록소함량의 변화는 유식물의 성장과 더불어 증가하였으나, pH 4.2에서 중금속처리시 엽록소함량의 감소가 현저하였다. 생체량의 변화는 Al처리농도가 증가

하고 pH가 낮을수록 현저한 감소를 보였고, 100ppm Ca의 복합처리시 100ppm Al처리에 비해 5.1-5.9% 증가를 나타내었다.

Al처리에 따른 근류의 질소고정 비활성은 100ppm Al처리 28일째 pH 4.2와 6.5에서 각각 대조구의 35.2%와 52.2%였고, 100ppm Al+100ppm Ca는 각각 대조구의 42.6과 69.9%였으며, 따라서 pH가 낮을수록 Al의 억제 효과가 현저하였다. 근류형성량도 Al처리농도가 증가하고 pH가 낮을수록 억제되었으며, 총질소고정량은 근류형성의 억제로 인해 pH 4.2에서 100ppm 처리시 대조구의 10% 미만에 불과하였다. 그러나 Al과 Ca의 복합처리와 pH를 저하시킴으로써 근류형성능은 회복되었다.

감사의 글

이 연구는 1997년도 교육부 기초과학육성연구비(BSRI-97-4404)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- 고강석, 배정오, 1994, 생태계 복원기술 개발: 생태계 영향평가 개발(III), 환경부 3차년도 보고서, p 51-118.
- 朴泰圭, 1996, 環境스트레스에 대한 전동씨의 生長適應과 窒素固定 活性의 調節, 慶北大學校 博士學位論文, 191pp.
- Alva, A.K., D.G. Edwards, C.J. Asher and F.P.C. Blamey, 1986, Effects of phosphorus/ aluminum molar ratio and calcium concentration on plant response to aluminum toxicity, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 133-137.
- Arnon, D. J. 1949, Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, *Plant Physiol*, 24, 1-15.
- Asp, H., B. Bengtsson and P. Jensen, 1988, Growth and cation uptake in spruce(*Picea abies* Karst.) grown in sand culture with various aluminium contents, *Plant and Soil*, 111, 127-133.
- Baligar, V.C., H.L. Dos-Santos, G.V.E. Pitta, E.C. Filho, C.A. Vasconcellos and A.F.C. Bahia-Filho, 1989, Aluminium effects on growth, grain yield and nutrient use efficiency ratios in sorghum genotypes, *Plant and Soil*, 116, 257-264.
- Bazzaz, M.B. and Govindjee. 1974, Effect of cadmium nitrate on spectral characteristics and light reactions of chloroplasts, *Environ. Lett.*, 6, 1-12.
- Bekker, A.W., N.V. Hue, L.G.G. Yapa and R.G. Chase, 1994, Peanut growth as affected by liming, Ca-Mn interactions and Cu plus Zn applications to oxidic samoan soils, *Plant and Soil*, 164, 203-211.
- Bingham, F.T., Page, A.L. and Strong, J.E., 1980, Yield and cadmium content of rice grain in relation to addition ratio of cadmium, copper, nickel and zinc with sewage and liming, *Soil Sci.*, 130, 32-38.
- Carvalho, M.M.D., D.G. Edwards, C.J. Asher, 1982, Effects of aluminium on nodulation of two *Stylosanthes* species grown in nutrient solution, *Plant and Soil* 64: 141-152.
- Edmeades, D.C., F.P.C. Blamey, C.J. Asher and D. G. Edwards, 1991, Effects of pH and aluminium on the growth of temperate pasture species. I. Temperate grasses and legumes supplied with inorganic nitrogen, *Aust. J. Agric. Res.*, 42, 559-569.
- Foy, C.D., R.L. Channey, M.C. White, 1978, The physiology of metals in plants. *Annu. Rev. Plant. Physiol.*, 29, 511-566.
- Harter, R.D., 1983, Effect of soil pH on adsorption of lead, copper, zinc and nickel, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, 41-47.
- John, M.K., Van Laerhoven, C and H.H. Chuah, 1972, Factors affecting plant uptake and phytotoxicity of cadmium added to soil, *Environ. Sci. Technol.*, 6, 1005-1009.
- Kaser, M., B.T. Neubauer and F.E. Hutchinson. 1975, Influence of aluminum ions on developmental morphology of sugarbeet roots. *Agron. J.*, 67, 84-88.
- Lafever, H.N., L.G. Campbell and C.D. Foy, 1977, Differential response of wheat cultivars to Al, *Agron. J.*, 69, 751-758.
- Lagerwerff, J.V., 1971, Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil and air, *Soil Science*, 111, 129-133.
- Macleod, L.D. and L.P. Jacson, 1965, Effect of concentration of the aluminium ion on root development and establishment of legume seedlings, *Can. J. Soil Sci.*, 45, 221-234.
- Maksymiec, W., R. Russa, T. Urbanik-Sypniewska and T. Baszynski. 1994, Effect of excess Cu^{2+} on the photosynthetic apparatus of runner bean leaves treated at two different growth stages, *Physiol. Plant*, 91, 715-721.
- Parker, D.R., T.B. Kinraide and L.W. Zelazny, 1988, Aluminium speciation and phytotoxicity in dilute hydroxy aluminium solutions, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 438-444.
- Patterson, R.F., C.D. Raper Jr. and H.D. Gross. 1979, Growth and specific nodule activity of soybean during application and recovery of a leaf moisture stress. *Plant Physiol.*, 64, 551-556.

- Rao, V.R. 1977, Effect of root temperature on the infection processes and nodulation in Lotus and Stylesanthes, J. Exp. Bot., 28, 241-255.
- Reid, D.A., A.L. Fleming and C.D. Foy, 1971, A method for determining aluminium response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil. Agron. J., 63, 600-603.
- Tan, K., W.G. Keltjens and G.R. Findenegg, 1992, Calcium-induced modification of aluminium toxicity in sorghum genotypes, J. Plant Nutr., 15, 1395-1405.
- Wheeler, D.M., D.C. Edmeades and R.A. Christie, 1992, Effect of aluminium on relative yield and plant chemical concentration of cereals growth in solution culture at low ionic strength, J. Plant Nutri., 15, 403-418.
- Wilkins, D.A., 1978, The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth, New Phytol., 80, 623-633.
- Wong, M.H., and A.D. Bradshaw. 1982, A comparison of the toxicity of heavy metals using root elongation of rye grass, *Lolium perenne*, New Phytol., 91, 255-261.
- Wood, M., J.E. Cooper and A.J. Holding, 1984, Aluminium toxicity and nodulation of *Trifolium repens*, Plant and Soil, 78, 381-391.