

식물 분류단위 특이적인 칼슘대사의 생리생태학적 특성

추연식* · 송승달
경북대학교 생물학과

Ecophysiological Characteristics of Plant Taxon-Specific Calcium Metabolism

Choo, Yeon-Sik and Seung-Dal Song

Department of Biology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

ABSTRACT

In order to compare species-specific calcium metabolism, we collected 127 species belonging to 40 different families grown on various habitats including saline, limestone, wetland during the 1996 vegetation period, and analyzed their inorganic ion contents. Plants investigated were divided into 5 groups according to their physiological properties: 1) Chenopodiaceae, Aizoaceae, Caryophyllaceae, Portulacaceae and Phytolaccaceae of Centrospermales and Polygonaceae (Polygonales) had a little water-soluble Ca^{2+} but contained high contents of insoluble Ca^{2+} particularly as Ca-oxalate (Chenopodiaceae type), 2) Some plant species such as Rosaceae produced oxalate in amounts insufficient to precipitate all incoming Ca^{2+} and thus contained a surplus of dissolved Ca^{2+} (Rosaceae type), 3) The contents of water-soluble Ca^{2+} in plant species of Crassulaceae, Plantaginaceae, Asclepiadaceae, and Zygophyllaceae were equal to or greater than those of K ($K/Ca \leq 1$; Crassulaceae type), and 4) K/Ca ratios of Compositae were significantly fluctuated depending on species and soil Ca^{2+} level of their habitats (Compositae type). 5) Certain monocots (Gramineae, Cyperaceae, Juncaceae), in contrast to the dicotyledonous plant families mentioned above, showed a very distinct type of calcium metabolism, that is, the K/Ca ratios of 8~10 were maintained indifferently in the species and their habitat types (Graminae type). These results suggest that the physiological peculiarities of a species affect its ecological behavior, showing that plants within the same taxon have similar physiological aspects as well as morphological attributes. To understand calcium metabolism of certain plant species, therefore, it is desirable to approach on the basis of physiological concept (calcitroph or calciophobe) rather than the ecological one (calcicole or calcifuge).

Key words : Calcium metabolism, Calcicole, Calcifuge, Calcitroph, Calciophobe.

서론

생태생리학적 수준에서 단일 요인, 예를 들면 토양의 Ca^{2+} 이나 Al^{3+} 이온의 함량, 염도, 건조, 추위, 가축의

방목 등과 같이 식물체에 직접적으로 작용하는 요인들에 관한 접근으로 여러 연구자 그룹들은 특정환경(염습지 및 사구, 빈영양습지, 건조지대, 석회암지대, 사문암지대 등)에서 식물의 생리생태학적 적응기작에 대해 많은 관심을 기울여 왔다. 이 중 석회암지대에 식물의 출

이 연구는 1996년도 한국과학재단 국내 Post-Doc. 연구비 및 1997년도 교육부 기초과학육성 연구비(BSR1-97-4404)의 지원에 의한 것임.

현 여부에 대한 협석회식물 (calcifuge)-호석회식물 (calcicole) 문제는 인과적 생태계 분석의 가장 오래된 내용 중의 하나로 지난 200년 동안 유럽 식물학자들의 흥미를 끌어들였고, 토양 Ca 함량이 식물분포를 결정하는 주요인으로 간주되어 왔다 (Ellenberg 1958, Gigon 1971, Kinzel 1982, 1983, 1989, Rorison and Robinson 1984, Gigon 1987).

위와 같은 서식처 특이성에 바탕을 둔 여러 연구를 통해 Kinzel 등 (Kinzel 1972, 1982, Albert and Kinzel 1973)은 같은 분류단위 (taxon) 내에 공통의 생리적 특성이 있음을 보고하였고, 이런 공통의 특이적인 생리 양상이 종의 생태적 위치를 결정하거나 상당한 영향을 미침을 제안하였고, 무기이온 및 유기물질 대사의 생태적 의의에 대해 많은 관심을 두었다. 이를 기초로 형태·해부학적 특징 (주로 생식기관)에 의해 식물종을 분류하는 전통적인 방법 이외에 생리적인 특성 (질소대사 양상, 세포질내 삼투조절물질 및 2차 대사산물 합성 등)에 따라 특정 그룹으로 기술하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다 (Albert 1982, Kinzel 1984, Pollack and Albert 1990, Kinzel and Lechner 1992, Hütterer and Albert 1993, Choo, 1995).

Ca은 고등식물의 생존을 위한 필수원소로 생체내에서 다양한 기능을 가진다 (Marschner 1995). 즉, Ca은 세포벽에서 pectin질의 격자무늬 형성에 관여하는 기본적 성분이고, 원형질막의 안정화에 작용하고, 효소성분 또는 효소 활성제, calmodulin과 같은 활성물질의 조절자, 세포액의 삼투작용에 중요한 성분, 식물체에서 유해한 물질 (염, 중금속 등)에 대한 보호제로서의 여러 기능을 갖는다. Ca 결핍은 농업에 있어서는 거의 드물고, 자연상태에서는 척박한 산성토양 같은 곳에서 나타난다. 식물체내로의 Ca 흡수 및 대사 형태는 요구량보다 더 많은 양의 Ca을 흡수하고 과도하게 축적하는 특이한 반응을 야기시키는 까닭에 많은 흥미를 유발시켜왔다. 칼슘대사에 있어서 생리적인 호칼슘형 식물 (physiological calciotroph or calciophily)은 유입되는 Ca을 액포내에 많이 축적하며, 건조한 석회질토양에 풍부한 Ca을 직접적으로 삼투조절에 이용할 수 있기 때문에 보통 생태적인 호석회식물 (calcicole)이며, 반면 생리적인 혐칼슘형 식물 (physiological calciophobe)은 유입되는 Ca을 액포내에서 Ca-옥살산염으로 침전하여 낮은 액포 Ca농도를 유지하나 건조한 석회질토양에 적응하기 위해서는 세포내 다량의 삼투조절물질 (특히 가용성 탄수화물)을 부가적으로 생성해야 하는 까닭에 보편적으로 석회질 환경

을 회피하는 생태적인 혐석회식물 (caicifuge)이다. 이들 식물에 대해 Iljin (1936, 1940, 1944)은 생리적인 혐칼슘형이라 표현하였으나, 이 개념은 빈번히 생태학적 용어인 호석회식물 및 혐석회식물과 혼동하여 사용되어져 왔는데, 생리적인 혐칼슘형은 생태적인 혐석회식물로 분류되는 종에만 한정되지 않고 예외적인 몇몇 생태적인 호석회식물 (calcicole)에서도 확인되었다 (Kinzel 1982, 1983, 1989, Larcher 1995).

이러한 여러 사실 (Kinzel 1982, 1992)들을 토대로, 본 연구의 목적은 우리나라의 다양한 환경에 생육하고 있는 다양한 과에 속하는 식물에서 수용성 및 불용성 Ca 함량을 분석·비교함으로써 분류단위간 Ca 대사의 생리 생태학적 특성을 밝히는데 있다.

재료 및 방법

식물체의 채집

1996년 생육기간 동안 (5~8월) 염습지, 사구, 석회암 지대, 습지, 나지 등을 포함하여 23개 지점의 다양한 환경에 서식하고 있는 다양한 과에 속하는 식물 (40과, 94속, 127종)에 대해 생육상태가 양호한 지상부만을 채집하였다 (몇몇 식물의 경우, 생육상태에 따라 1회 이상 채집). 식물이 생육하고 있는 각 서식지의 토양 무기환경을 조사하기 위해 표층에서 20 cm 깊이의 토양시료를 채취하였다. 토양환경 및 조사된 식물종은 Table 1과 Appendix 1에 나타나 있다. 식물명은 이 (1989)를 기준으로 하였고, 일부 귀화식물은 박 (1995)에 따랐다.

식물체의 무기양이온 측정

식물체는 생체량 (fresh weight; FW)을 측정된 후 대사적 변화를 억제하기 위하여 냉동건조법 (또는 마이크로 웨이브법)으로 건조시켜 건조량 (dry weight; DW)을 측정하였다. 식물체의 수분함량 (plant water; PW)은 생체량과 건조량의 차로써 구하였다. 건조된 시료는 분말로 만들어 끓는 물에 1시간 동안 처리하여 수용성 이온을 획득하였고, 총이온은 80°C 질산 1N에 30분간 처리하여 추출하였다. 추출액 중 K^+ 과 Ca^{2+} 은 ICP (Inductively Coupled Plasma; JOBIN YVON 38 PLUS)를 이용해 정량적으로 측정하였다. 또한 식물체내 불용성 칼슘의 상태를 비교하기 위하여 1 N NaCl 용액으로 추출하여 정량하였다 (Kinzel 1989).

Table 1. Habitat types and soil chemical characteristics of 23 sampling sites, n.d.: not determined (mean±standard error)

Habitat	Location	Site No.	Soil		Soil pH			Soil exchangeable cations (mmolc / 100g)				
			N (%)	H ₂ O ext.	KCl ext.	Ca	Mg	Na	K			
Wet	Changryong-Upo	19	n.d.	n.d.	n.d.	2.45	1.00	0.86	0.32			
		4	0.18	5.89	4.29	6.76	2.54	0.13	0.29			
		5	0.27	6.42	4.92	3.65	0.65	0.06	0.08			
		6	0.13	6.45	5.54	11.37	1.89	0.15	0.23			
		11	0.17	6.50	5.14	8.74	2.29	0.16	0.36			
		12	0.25	6.16	5.16	11.87	2.54	0.35	0.87			
Moist	Nakdong river (Haepyung-myon)	23	0.15	6.38	5.27	13.11	2.01	0.05	0.60			
		mean	0.19±0.05	6.30±0.21	5.05±0.39	9.25±3.27	1.99±0.65	0.15±0.10	0.40±0.26			
		1	0.14	5.80	4.15	1.96	1.51	0.10	0.32			
		7	0.18	5.71	4.12	1.59	0.49	0.06	0.25			
		8	0.18	5.77	4.15	2.81	1.00	0.10	0.28			
		9	0.18	6.40	4.69	2.74	0.92	0.20	0.26			
Forest stand (limestone)	Danyang (Dansung-myon)	mean	0.17±0.02	5.92±0.28	4.28±0.24	2.27±0.52	0.98±0.36	0.11±0.05	0.28±0.03			
		13	0.05	5.96	4.47	5.46	0.33	0.04	0.25			
		14	0.12	6.03	4.45	7.69	0.98	0.04	0.42			
		mean	0.09±0.03	6.00±0.03	4.46±0.01	6.58±1.11	0.65±0.33	0.04±0.00	0.33±0.09			
		10	0.04	6.85	5.79	2.15	0.32	0.03	0.21			
		16	0.08	7.30	7.31	3.05	0.52	0.16	0.53			
Sand dune	Nakdong river (Haepyung-myon)	17	0.06	7.20	7.11	2.94	0.48	0.11	0.41			
		mean	0.07±0.01	7.25±0.05	7.21±0.10	2.99±0.06	0.50±0.02	0.13±0.02	0.47±0.06			
		22	0.15	6.98	6.22	3.61	6.44	16.65	1.78			
		3	0.30	6.24	4.64	5.03	2.21	0.03	0.80			
		18	0.37	6.75	5.04	7.25	4.51	0.98	0.80			
		mean	0.34±0.03	6.50±0.25	4.84±0.20	6.14±1.11	3.36±1.15	0.51±0.47	0.80±0.00			
Coastal cliff	Pohang (Kampo)	2	0.50	7.60	6.88	12.18	8.17	1.46	5.17			
		15	0.16	6.26	4.87	14.60	3.55	0.09	0.36			
		20	0.04	6.41	4.91	8.39	6.00	0.38	0.11			
		21	0.17	7.05	5.62	10.26	2.31	0.05	0.40			
		mean	0.22±0.17	6.83±0.53	5.57±0.81	11.36±2.30	5.01±2.26	0.49±0.57	1.51±2.12			
		mean	0.22±0.17	6.83±0.53	5.57±0.81	11.36±2.30	5.01±2.26	0.49±0.57	1.51±2.12			
Ruderal	Pohang (Guryongpo)	22	0.15	6.98	6.22	3.61	6.44	16.65	1.78			
		3	0.30	6.24	4.64	5.03	2.21	0.03	0.80			
		18	0.37	6.75	5.04	7.25	4.51	0.98	0.80			
		mean	0.34±0.03	6.50±0.25	4.84±0.20	6.14±1.11	3.36±1.15	0.51±0.47	0.80±0.00			
		2	0.50	7.60	6.88	12.18	8.17	1.46	5.17			
		15	0.16	6.26	4.87	14.60	3.55	0.09	0.36			
Ruderal	Kyoungju (Hwarang area)	20	0.04	6.41	4.91	8.39	6.00	0.38	0.11			
		21	0.17	7.05	5.62	10.26	2.31	0.05	0.40			
		mean	0.22±0.17	6.83±0.53	5.57±0.81	11.36±2.30	5.01±2.26	0.49±0.57	1.51±2.12			
		2	0.50	7.60	6.88	12.18	8.17	1.46	5.17			
		15	0.16	6.26	4.87	14.60	3.55	0.09	0.36			
		20	0.04	6.41	4.91	8.39	6.00	0.38	0.11			
Ruderal	Taegu (Gumdan-dong)	21	0.17	7.05	5.62	10.26	2.31	0.05	0.40			
		mean	0.22±0.17	6.83±0.53	5.57±0.81	11.36±2.30	5.01±2.26	0.49±0.57	1.51±2.12			
		2	0.50	7.60	6.88	12.18	8.17	1.46	5.17			
		15	0.16	6.26	4.87	14.60	3.55	0.09	0.36			
		20	0.04	6.41	4.91	8.39	6.00	0.38	0.11			
		21	0.17	7.05	5.62	10.26	2.31	0.05	0.40			

토양의 무기환경 측정

채취된 토양시료는 45°C에서 5일간 건조시킨 후 증류수 혹은 1M KCl 25ml에 건조토양 5g을 넣고 1시간 동안 진탕한 후 pH를 측정하였다. 치환성 양이온은 건조 토양 5g을 100ml 삼각플라스크에 취하여 1N-NH₄Ac 용액(초산-암모늄법) 50ml를 가하여 1시간 진탕 후 여과한 다음 적절히 희석해서 ICP로 정량하였다(농업기술연구소 1988).

통계처리 및 계산

통계처리는 Unistat 1.2를 이용하였고, 식물체내 수용성 이온은 식물체 수분 g 당 μmol 또는 μmolc 로 환산하였고, 질산으로 추출된 총 이온함량은 건조중량 당 μmol 또는 mmol 로 계산하였다.

결 과

토양환경

토양의 pH 값은 석회질 임상에서 pH 5.96~6.03, 염습지 및 해안사구에서 pH 6.98~7.25, 습지에서 pH 5.89~6.50, 임상에서 pH 5.71~6.40, 교란지에서 pH 6.26~7.60의 값을 보였으며, 염습지나 교란지에 비해 석회질 토양의 pH가 다소 낮은 편이었다(Table 1). 토양의 치환성 Ca²⁺은 비석회질의 임상에서 가장 낮았고(1.59 mmolc/100 g soil), 석회질 토양의 교란지에서 최대를 보였다(14.60 mmolc/100 g soil). 토양의 Mg²⁺ 함량은 Ca²⁺ 함량이 높은 곳에서 비교적 높게 나타났고, Na⁺과 K⁺ 함량은 특정 지역(염습지)을 제외하고는 서식처간 큰 차이가 없었다.

수용성 이온함량 변화

본 조사 대상식물은 260~1,800 $\mu\text{mol/g}$ DW 정도의 K⁺을 함유하였는데 돌나물과의 식물은 490, 사초과는 580, 벼과는 640, 산형과는 780, 명아주과는 약 970 μmol 그리고 국화과의 식물은 370~1,440 $\mu\text{mol/g}$ pw로 함량차를 보였다(Appendix 1, Fig. 1). 다양한 식물종은 물에 의해 추출될 수 있는 Ca²⁺을 대략 20~760 $\mu\text{mol/g}$ DW 정도 함유하였고, 마디풀과와 중심자목에 속

하는 명아주과, 석죽과, 석류풀과, 자리공과, 쇠비름과 등의 식물은 7 $\mu\text{mol/g}$ DW 이하의 Ca²⁺ 함량을 보인 반면, 돌나물과, 남가새과, 박주가리과, 질경이과, 삼과, 일부 산형과 및 국화과 식물은 250 $\mu\text{mol/g}$ DW의 높은 Ca²⁺ 함량을 보였다. 한편, 단자엽에 속하는 사초과 및 벼과의 식물은 종간에 큰 변화없이 75 $\mu\text{mol/g}$ DW 정도의 Ca²⁺을 함유하였다(Fig. 1 & 2). 잎이 노화됨에 따라 K⁺ 농도는 감소하는 반면, Ca²⁺ 농도는 증가하였다(Appendix 1; 예, *Salicornia herbacea*).

불용성 Ca²⁺ 이온함량 변화

각 식물체내에서 Ca²⁺의 축적 형태를 살펴보기 위해 산(1 N HNO₃)과 염(1 N NaCl)으로 추출한 결과 수용성 부분 중에 소량의 Ca²⁺을 함유한 명아주과, 석죽과, 마디풀과 등의 식물은 세포(특히, 액포)내에 다량의 산-용해성 Ca²⁺을 많이 함유하였고, 다량의 수용성 Ca²⁺을 함유한 질경이과, 돌나물과의 식물은 소량의 불용성 Ca²⁺을 제외하고는 거의 산-용해성 Ca²⁺을 함유하지 않았다. 국화과의 식물은 종간 또는 토양 Ca²⁺ 함량에 따라 현저한 차이를 보였다(Fig. 1). 종간의 차이는 있지만 일부 콩과, 돌나물과, 대극과 그리고 백합과의 식물은 0.7 mmol/g DW 이상의 염-용해성 Ca²⁺을 함유하였다(Fig. 3). 한편, 벼과 및 사초과 식물은 거의 산-용해성 Ca²⁺을 함유하지 않았고, 염에 의해 추출되는 불용성 Ca²⁺을 200 $\mu\text{mol/g}$ DW정도 함유하였으나, 전체적으로 이들 과에 속하는 식물들은 쌍자엽 식물에 비해 소량의 총 칼슘을 함유하였다.

K/Ca비

식물체내 수용성 및 불용성 K/Ca의 비에 관해 살펴보면, 단자엽의 사초과 및 벼과 식물은 종간의 차이에도 불구하고 수용성 부분 중에서 8~10의 높은 비를 유지하였지만 불용성 부분에 있어서는 종간의 유의한 변화를 보였다(Table 2 & Fig. 3). 수용성 부분중에 아주 낮은 Ca²⁺을 함유한 마디풀과, 명아주과 그리고 일부 산형과 및 매꽃과는 아주 높은 K/Ca 비를 보였다(Table 2). 한편, 돌나물과, 질경이과, 남가새과 그리고 일부 대극과의 식물은 1 이하의 아주 낮은 비를 보였고, 불용성 부분에서도 다소 낮은 비를 보였다. 국화과의 식물은 평균적으로 10 정도의 높은 비를 나타내었지만 다른 과의 식물에 비해 수용성 및 불용성 부분 중에서 종

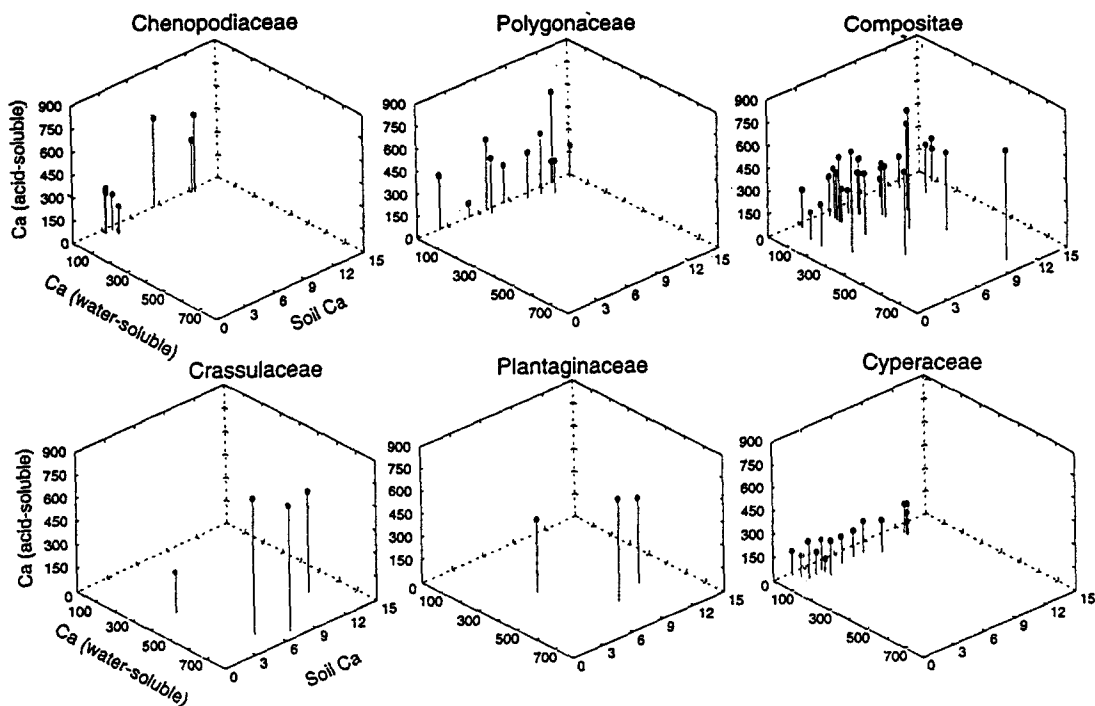


Fig. 1. Three-dimensional plots of water-soluble, acid-soluble Ca content ($\mu\text{mol/g}$ DW) in the leaves of several plants families, and their soil exchangeable Ca contents (mmolc/100g).

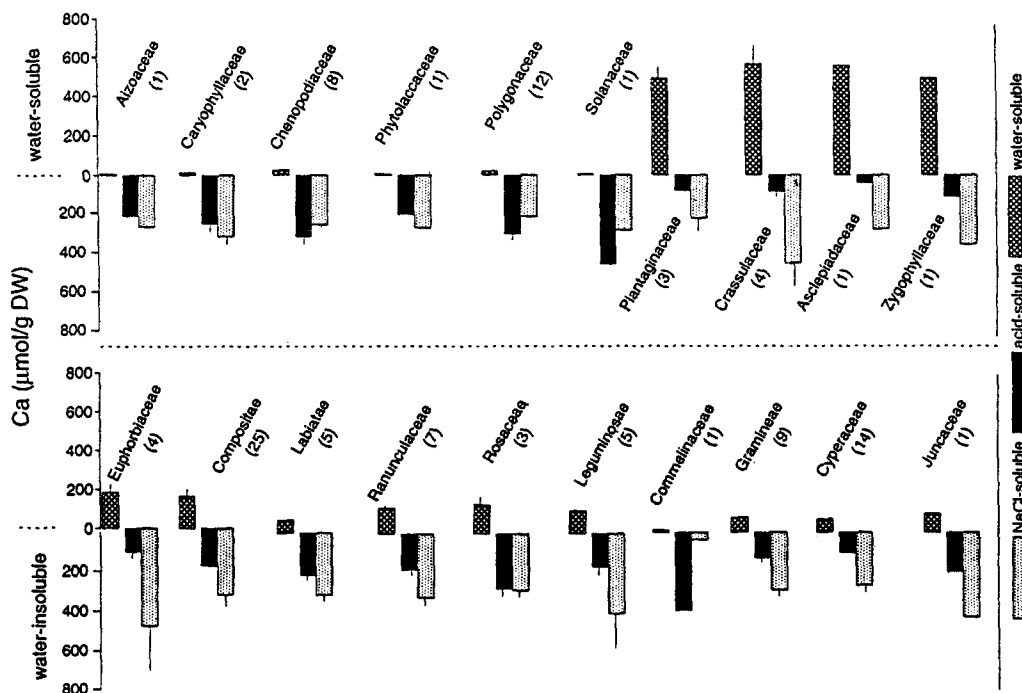


Fig. 2. Calcium content ($\mu\text{mol/g}$ DW) of fractions extracted from the leaves of several plant families. Bars above the horizontal line: water-soluble fraction. Bars below the horizontal line: water-insoluble fraction. The extraction solutions were H_2O , 1N HNO_3 and 1N NaCl , as indicated with the respective bars. Numbers in parenthesis mean the number of plant sample examined. Narrow bars mean standard error.

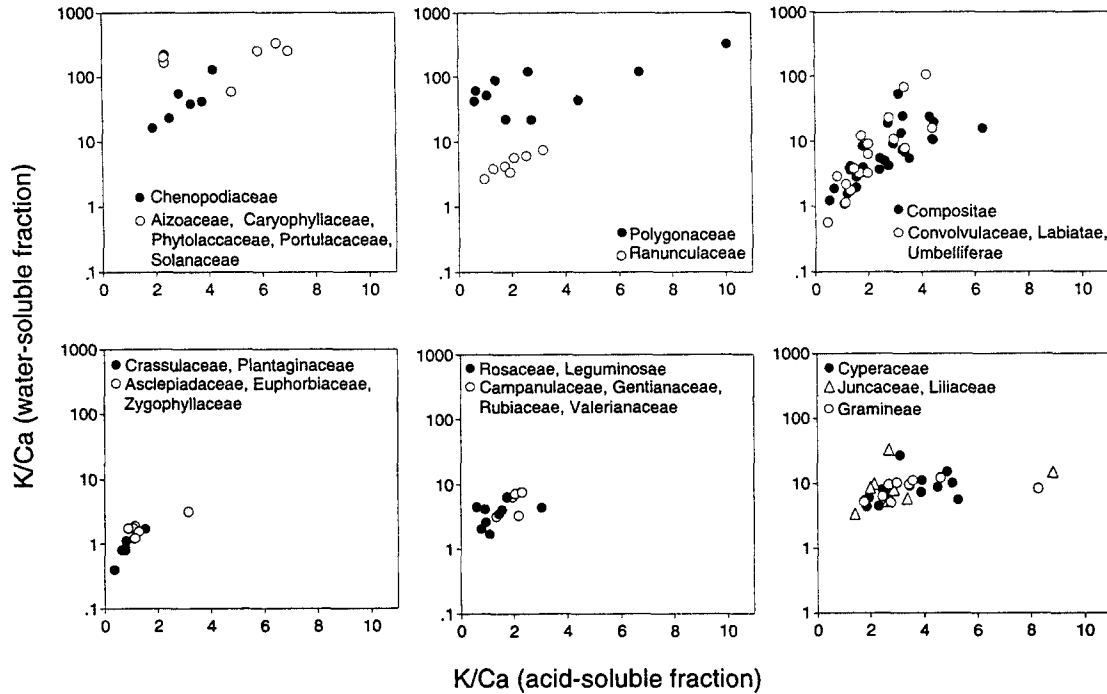


Fig. 3. Relationships between K/Ca (water-soluble fraction) and K/Ca (acid-soluble fraction) in the leaves of several plant families.

Table 2. K/Ca ratio (mean±standard error), calculated from water-soluble fraction ($\mu\text{mol/g DW}$) and acid-soluble fraction ($\mu\text{mol/g DW}$), in the leaves of plants from different families

Family	K/Ca		No. of sample
	Water-soluble	Water-insoluble	
Cyperaceae	9.6 ± 1.5	4.0 ± 0.7	15
Gramineae	8.9 ± 0.9	3.6 ± 0.6	9
Liliaceae	12.5 ± 4.3	3.4 ± 1.0	7
Orchidaceae	5.3 ± 1.7	2.0 ± 0.7	3
Polygonaceae	75.5 ± 25.2	2.9 ± 0.8	12
Chenopodiaceae	66.1 ± 25.8	2.9 ± 0.3	8
Ranunculaceae	4.7 ± 0.6	2.0 ± 0.3	7
Crassulaceae	1.0 ± 0.3	0.9 ± 0.3	4
Leguminosae	3.7 ± 0.4	1.5 ± 0.4	6
Rosaceae	3.7 ± 1.3	1.2 ± 0.3	3
Euphorbiaceae	1.9 ± 0.1	1.6 ± 0.5	4
Umbelliferae	23.0 ± 16.9	2.2 ± 0.5	6
Convolvulaceae	16.7 ± 13.0	1.9 ± 0.6	5
Labiatae	9.5 ± 1.9	2.4 ± 0.5	6
Plantaginaceae	0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.0	3
Compositae	9.7 ± 2.1	2.7 ± 0.3	28

간 현저한 K/Ca 비의 변화를 보였다.

생리적인 호칼슘형 식물과 혐칼슘형 식물

토양의 칼슘 환경에 따른 식물체내 Ca^{2+} 동향은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 4개의 그룹으로 나누어진다. 그룹 I은 토양의 적은 Ca^{2+} 함량에 따라 체내의 수용성 Ca^{2+} 함량을 적게 유지한 식물종으로 이들 그룹은 식물체 총 Ca^{2+} 량도 적게 함유하였다. 그룹 II는 일부 국화과, 들나물과 및 남가새과 식물에서 뚜렷한 경향을 보이는 것으로 이들은 토양의 낮은 Ca^{2+} 함량에도 불구하고 체내에 높은 수용성 Ca^{2+} 을 함유하였고, 토양의 Ca^{2+} 함량이 증가함에 따라 식물체내 수용성 Ca^{2+} 함량의 증가를 보였다. 한편, 그룹 III은 토양의 많은 Ca^{2+} 함량에도 불구하고 체내에 아주 낮은 농도의 수용성 Ca^{2+} 함량을 유지하였고, 그룹 I에 비해 불용성 Ca^{2+} 의 함량이 크게 증가하였다. 이 그룹에 속하는 대표적인 식물로는 명아주과 및 마디풀과에 속하는 종들이었다. 마지막 IV그룹은 토양 Ca^{2+} 함량에 비례하여 체내에 높은 수용성 Ca^{2+} 을 함유한 식물체로 들나물과와 일부 초롱꽃과, 산형과, 꿀풀과 그리고 삼과의 식물이 이 그룹에 속하였다.

위의 결과를 종합하면, 조사된 식물체는 토양 Ca^{2+} 환경과는 무관하게 분류단위의 생리적인 특질에 따라

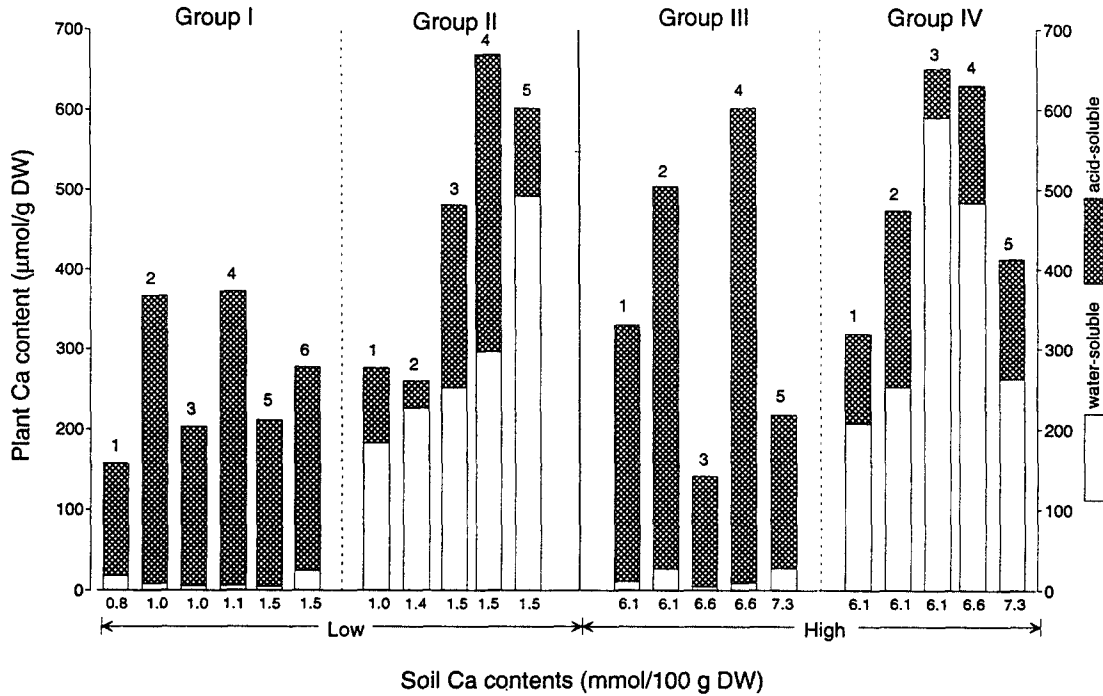


Fig. 4. Plant Ca contents (sum of water- & acid-soluble fraction: $\mu\text{mol/g DW}$) in the leaves of several plant species grown on soil having low and high Ca contents: Group I (1. *Carex humilis*; 2. *Rumex crispus*; 3. *Phytolacca esculenta*; 4. *Persicaria hydropiper*; 5. *Tetragonia tetragonoides*; 6. *Suaeda asparagoides*), Group II (1. *Eupatorium chinense* var. *simplicifolium*; 2. *Sedum telephium* var. *purpureum*; 3. *Glehnia littoralis*; 4. *Xanthium canadense*; 5. *Tribulus terrestris*), Group III (1. *Chenopodium glaucum*; 2. *Chenopodium album* var. *centrorubrum*; 3. *Rumex crispus*; 4. *Persicaria thunbergii*; 5. *Rumex japonicus*), Group IV (1. *Codonopsis lanceolata*; 2. *Lamium amplexicaule*; 3. *Sedum sarmentosum*; 4. *Oenanthe javanica*; 5. *Humulus japonicus*).

생리적인 호갈습형, 험갈습형 식물, 국화과형과 및 벼과형 식물 등으로 분류되어질 수 있었다.

고찰

갈습의 축적과 형태

자연상태에서 많은 식물들은 생명의 기본과정에 요구되는 양보다 더 많은 Ca^{2+} 을 흡수한다 (Marschner 19-95). 보통 세포질은 낮은 Ca^{2+} 농도($0.1\sim 0.2 \mu\text{mol/L}$ 정도)를 유지하기 때문에 이런 과도한 Ca^{2+} 함량은 특정 환경하에서는 유해한 영향을 미칠 수 있다. 많은 경우에 있어서, Ca^{2+} 은 CaCO_3 형태로 세포벽에 상당량이 함유되어 있고 (Rattenböck 1978, Pollack and Albert 19-90), 성숙한 식물체에서는 대부분의 수용성 Ca^{2+} 이 액포에 다양한 형태로 존재한다 [유리 Ca^{2+} , Ca-옥살산염 (Ca-oxalate), CaSO_4 등]. Fig. 2에서 보여지는 것처럼

끓는 물에 의해 추출된 Ca^{2+} 은 기본적으로 액포, 세포질과 소기관 그리고 세포벽(극소량)으로 부터 유래하고, NaCl에 의해 추출된 Ca^{2+} 은 세포벽이나 액포의 2가 또는 3가 음이온에 정전기적으로 흡착된 것이고, 초산에 의해 추출된 Ca^{2+} 은 Ca-인산염, Ca-pectinate 또는 이에 유사한 화합물로 부터 유래된 것이고, HNO_3 (또는 HCl)에 의해 추출된 분획은 본래 oxalate에 결합된 Ca^{2+} 을 포함하는 것으로 알려진다 (Kinzel 1989). 옥살산 (oxalic acid)은 식물 세계에서 보편적으로 발견되며, 소수의 종만이 옥살산을 생성하지 않으며, Ca-옥살산염 결정은 일반적으로 거의 모든 식물에 나타나지만, 십자화과, 초롱꽃과, 양귀비과, 번의귀과, 속새과에서는 나타나지 않는다고 보고되었다 (Stahl 1920). 따라서 Appendix 1에 나타난 위에 언급된 과에 속하는 식물의 산-용해성 Ca^{2+} 은 oxalate에 결합된 Ca^{2+} 획분이 아니라 세포벽과 막에 결합된 다른 형태의 획분에 함유되어 있는 것으로 생각된다.

한편, 잎이 노화됨에 따라 Ca^{2+} 는 함량이 증가되는데 (예, 통통마디), 이는 증산류(transpiration stream)를 통해 잎으로 이동된 Ca^{2+} 이 사부에서는 비교적 이동성이 적어 잎에 축적됨을 시사한다(Larcher 1995). 식물이 생장하는 동안 잎을 통해 수송된 물의 양이 많으면 많을 수록 잎은 더 많은 Ca^{2+} 을 가지게 되며, 어떤 환경하에서는 과도한 Ca^{2+} 흡수를 초래할 수 있다.

호석회 식물(Calciicole)과 혐석회 식물(Calcifuge)

어떤 식물은 전적으로 석회암지대에서만 발견되고, 어떤 식물은 규산질, 사질의 Ca^{2+} 결핍 토양에서만 발견되는데 이런 기질 선호성에 따라 생태학적 용어인 호석회 식물 또는 혐석회식물로 부른다(Kinzel 1983). 석회질 토양은 물이 투과하기 쉬워서 건조하며, 또 다량의 Ca^{2+} 과 HCO_3^- 를 함유한다는 점에서 Ca-결핍 토양과는 현저한 차이를 보인다. 따라서, 석회질 토양에 식물이 생존하기 위한 필수조건은 건조 및 고농도의 Ca^{2+} 에 대한 저항성을 갖는 것이다. 특이적으로 세포질의 Ca^{2+} 농도 유지는 Ca 대사의 본질 및 유해한 영향(예를 들면, 광합성의 손상과 K^+ 유입 방해)을 막을 필요성에 조화되어야만 한다. 그러나 본 연구의 석회암지대 조사지인 단양군 단성면 구담봉 지역일대는 모암이 석회암임에도 불구하고 전형적인 석회암지대의 특징인 건조성 및 토양층의 높은 Ca^{2+} 함량을 보이지 않았는데(참조, Table 1), 이것은 아마도 오랜 시간 동안의 풍화 및 식생변화 과정 때문이라 생각되며, 또한 토양 수분함량도 높아 이 지대에 사는 식물체에 건조 피해 등, 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다(Kim *et al.* 1990, 1992, 안 등 1993). 이로 인해 대표적인 호석회식물(calcicole)과 혐석회식물(calcifuge)을 비교·분석하는데 큰 효과를 나타내지 못했다.

일반적으로 Ca^{2+} 농도가 낮은 토양에 적응한 식물은 석회질 토양의 식물보다 Ca^{2+} 에 대해 더 낮은 요구성과 더 낮은 저항성을 발달시켜 왔는데, 만일 혐석회식물이 석회질 토양에 처해질 때 P와 Fe의 결핍증상이 발달된다. 이를 석회유도성 황백화(lime-induced chlorosis)라 부르며, 대개 산성토양에 적응한 감귤류와 진달래과의 식물이 특히 민감한 것으로 알려져 있다(강과 신 1987, Schinas and Rowell 1977, Kinzel 1982, 1983, Marschner 1995). 석회유도성 황백화는 질산이온, 인산이온 그리고 유기산 대사를 포함하는 고도로 복잡한 대사적 피해를 유발한다. 또한 진정한 혐석회식물종은

HCO_3^- 와 Ca^{2+} 에 민감하게 반응하는데 HCO_3^- 의 농도가 현저히 높다면 뿌리에 다량의 malate를 생성시키는데 이것이 생장 저해효과를 가져오는 것으로 생각된다(Larcher 1995). 내조적으로, Ca^{2+} 이 부족한 토양 환경하에서 호석회식물은 Fe^{2+} , Mn^{2+} , 그리고 특히 산성토양에서 많이 유리되어 나오는 Al^{3+} 에 의한 피해를 받게 된다. 따라서, 산성토양에서 Al^{3+} 의 과도한 흡수는 호석회식물 종에 특이한 독성효과를 나타낸다. 반면, 혐석회식물은 중금속 이온과 무해한 복합체를 형성하므로 다량의 Al^{3+} 에 의한 피해를 받지 않는 것으로 보고되었다(Grime and Hodgson 1969, Kinzel 1983).

따라서 호석회식물 및 혐석회식물의 생태적 행동을 이해하기 위해서는 식물의 반응에 영향을 미치는 요인들(예, 질소원, 금속이온 독성, 영양 결핍 등)을 종합적으로 이해해야만 할 것이다. 예를 들어, Fe^{2+} 와 같은 본질적인 생체원소를 흡수하는 능력에서의 유전적 차이는 석회질의 염기성 토양에 종 및 생태형의 분포를 결정하는데 있어서 Ca^{2+} 대사보다는 더 큰 영향을 미치는 까닭에 다양한 식물종의 Ca^{2+} 대사를 이해하기 위해서는 생태적인 호석회 식물(calcicole)-혐석회 식물(calcifuge) 개념보다는 생리적 토대인 호칼습형(calciotroph or calciophily) 또는 혐칼습형(calciophobe)으로의 접근이 바람직하다고 생각된다.

호칼습형 식물(Calciotroph or calciophily; 돌나물과형)

많은 양의 수용성 Ca를 함유하는 식물형은 호칼습형으로 간주된다(Iljin 1940). Horak과 Kinzel(1971)에 따르면, 수용성 부분에서 K/Ca 비가 이 형에서는 보통 1 이하로 다른 형의 식물에 비해 현저히 낮으며, 높은 수용성 Ca^{2+} 을 체내에 함유하는 것으로 알려졌다. 호칼습형식물은 Fig. 1 & 2에서 처럼 대부분의 돌나물과, 질경이과, 남가새과, 박주가리과 그리고 일부 국화과, 메꽃과, 앵초과, 산형과 식물에서 나타나며, 건조 중량당 250 μmol 이상의 높은 수용성 Ca^{2+} 함량과 낮은 K/Ca 비를 나타내었다. 이들 다음으로 대극과와 콩과에 속하는 식물이 낮은 K/Ca 비를 보였다(Table 2). 호칼습형식물은 토양내에 풍부한 Ca^{2+} 을 직접 삼투조절에 이용할 수 있기 때문에 보편적으로 토양 Ca^{2+} 이 풍부한 곳에 출현한다고 알려진다(생태적인 호석회 식물)(Kinzel 1989). 한편, Fig. 1에서는 뚜렷하지 않았지만 일반적으로 돌나물과의 식물은 토양의 Ca^{2+} 농도가 낮은 환경에 나타난다는 보고가 있다(생태적인 혐석회 식물; Röss-

ner and Popp 1986). 이들은 Ca^{2+} 부족토양에서 생육하면서 내부 Ca^{2+} 요구를 위해 충분한 Ca^{2+} 을 흡수하는 것으로 알려진다(Horak 1971, Kinzel and Berger 1992). 이와는 반대로 생태적으로 Ca^{2+} 이 풍부한 장소에 나타나지만 생리적인 험칼습형으로 보이는 식물로는 Fig. 4의 group III에 나타난 마디풀과의 *Persicaria*와 *Rumex* 속을 들 수 있다. 이 형의 잘 알려진 예는 건조한 석회암 지대에 사는 석죽과의 *Dianthus* 속 식물에서 보여진다(Kinzel 1982). 이들 식물은 유입되는 모든 Ca^{2+} 을 침전시킬 수 있는 충분한 양의 oxalate를 성공적으로 충당하며, 어떤 경우에는 체내 수용성 Ca^{2+} 을 소량 함유한다. 이 점에서 각 분류단위들은 형태적 유사성뿐만 아니라 종종 '생리형(physiotype)'이라 불리는 생리적인 유사성을 가진다(Kinzel 1984, 1992, Larcher 1995, Choo and Albert 1997). 생리적인 호칼습형 식물은 아래의 oxalate형과는 대조적으로 Ca^{2+} 이 풍부한 액포에서 Ca^{2+} 이 빈약한 세포질로 특히 높은 농도구배(수천배)를 가지는 까닭에 토양액에서 액포로 Ca^{2+} 의 수송은 특히 가파른 전기화학적 구배를 극복하기 위한 V-ATPase or V-PPase에 다량의 에너지가 요구된다(Hager and Hermsdorf 1981, Barkla and Pantoja 1996). 다른 한편, calmodulin과 같은 Ca^{2+} 결합단백질 체계를 작동시킴으로써 액포에서 세포질로 Ca^{2+} 의 수동수송은 아래의 oxalate형보다는 이 형에서 더욱 유의하다. 따라서, 칼슘이 풍부한 장소에서 액포에 수백 $\mu\text{mol/g}$ pw의 Ca^{2+} 을 축적하는 호칼습형 식물(예, 남가새, 갯기름나물 등)은 험칼습형 식물에 비해 삼투조절인자로서 토양에 가장 풍부한 Ca^{2+} 이온을 직접적으로 이용하는 장점을 가지지만, 세포질과 액포 사이의 아주 큰 농도 구배를 유지하는데 있어서 액포막내에 매우 효과적이고 에너지 소모성 수송계를 작동시켜야 하는 단점을 가진다.

Oxalate형 식물(생리적 험칼습성 식물; 명아주과 및 장미과형)

Oxalate를 형성하는 식물종은 Ca-옥살산염을 형성하는 까닭에 세포내에 소량의 수용성 Ca^{2+} 을 함유한다. 그러나 다양한 식물종에서 용해 및 이온화된 Ca^{2+} 은 상당한 양에 도달할 수 있다(Fig. 2, Appendix 1). 물에 의해 추출되는 Ca^{2+} 함량은 대략 0.4~180 $\mu\text{mol/g}$ pw 정도이다. 일반적으로 험칼습성 식물(예, 소리쟁이, 쇠별꽃, 명아주, 나문재, 자리공, 쇠비름 등)의 액포는 10 $\mu\text{mol/g}$ pw 이하의 유리 Ca^{2+} 이 존재하는데 위의 호칼

습형 식물에 비해 액포와 세포질 사이의 농도 구배는 단지 100배 정도에 불과하다. 따라서 이러한 낮은 액포 Ca^{2+} 농도는 세포질의 낮은 Ca^{2+} 농도 유지를 용이하게 하는 잇점을 가질지도 모르지만, 그러나 아직까지 이러한 차이의 생리적 중요성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

Oxalate를 형성하는 식물은 크게 2개의 그룹으로 나누어진다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 Ca^{2+} 함량 이상의 oxalate를 함유하여 수용성 부분중 Ca^{2+} 이온을 거의 가지지 않는 식물(예, 명아주과, 석죽과, 쇠비름과, 석류과, 자리공과, 팽이밥과, 마디풀과, 가지과 등)과 유입되는 모든 Ca^{2+} 을 침전시키기에 불충분한 양의 oxalate를 생성하는 식물로 구분할 수 있다(예, 장미과, 미나리아재비과, 마타리과, 꼭두선이과 등). 이들 식물에 있어서 증산류에 따른 Ca^{2+} 의 유입은 oxalate합성을 유도하여 Ca-옥살산염의 함량을 증가시키지만 비교적 일정한 수용성 Ca^{2+} 함량을 유지한다. 전자의 식물(특히, 명아주과, 비름과, 석죽과, 마디풀과)은 Fig. 4의 group I에 비해 III에서 처럼 oxalate합성과 Ca^{2+} 의 침전이 유입되는 Ca^{2+} 에 의해 촉진되는 것으로 보고되었다(Kinzel and Lechner 1992). 이런 식물에 대해 Iljin (1936, 1940, 1944)은 생리적인 험칼습형(physiological calciophobe)라 표현하였다.

보편적으로 생리적인 험칼습형은 생태적인 험석회식물로 알려져 있는데, 만일 Ca^{2+} 이 풍부한 건조한 석회질토양(또는 칼슘염이 부가된 완전배지)에 이들 식물이 생육시에 생리적인 험칼습형은 어떻게 대처하는가? 일반적으로 호칼습형은 세포내 삼투조절물질로 유기음이온(특히 malate나 citrate)과 함께 Ca^{2+} 를 이용하지만, Fig. 4의 group III의 식물과 같은 oxalate형은 이처럼 할 수 없기 때문에 쌍자엽식물에서는 보편적이지 않은 다량의 가용성 탄수화물을 이용하여 세포내 삼투를 조절한다. 즉 이들은 필수적인 삼투포텐셜을 유지하기 위해 값비싼 탄수화물의 방대한 투자를 필요로 한다(Königshofer et al. 1979, Albert et al. 1980, Kinzel 1982). 석죽과의 많은 식물은 이런 기작을 갖지 않는 까닭에 보통 석회질 토양을 회피하는 생태적 험석회식물로 잘 알려져 있다(Kinzel 1982).

국화과형 식물

다른과의 식물에 비해 국화과, 메꽃과, 꿀풀과, 산형과 등의 식물은 토양환경에 따라 현저한 체내 Ca^{2+} 함

량 및 K/Ca 비의 변화를 보였다(Fig. 3). 이것은 아마도 국화과의 식물은 종간, 속간 형질이 아주 다양하며 이런 다양한 형질이 뚜렷한 생리적 유연성을 야기한 것으로 생각된다(渡邊 1996). Fig. 1에서 보여지는 것처럼 국화과 식물은 협갈습형 및 호갈습형을 같은 분류단위 내에 가지는 까닭에 독자적인 그룹으로 분류하였다. 많은 경우에 있어서 종의 분포와 Ca-생리형 사이에는 긴밀한 연관성을 가지는데(Larcher 1995), 국화과 식물처럼 같은 분류단위내에 두 형을 모두 가지는 것으로 미루어 식물과 환경 사이의 다양한 요인들을 고려할 필요가 있음을 강력히 시사한다.

벼과형 식물

뚜렷한 석회질 환경에 적응한 식물은 Ca^{2+} 의 수동수송을 조절하는 능력을 전개시켜 왔고, 반대로 Ca^{2+} 이 빈약한 토양에 적응한 식물은 그러한 능력이 결여되어 있는 것으로 여겨진다. 따라서 후자의 식물종들은 높은 외부 Ca^{2+} 농도에 처해질때 과도한 Ca^{2+} 을 체내에 축적하게 된다. 그러나 Fig. 3에서처럼 벼과와 사초과의 식물들은 다양한 환경하에서 수용성 Ca^{2+} 함량 이상의 높은 수용성 K^{+} 를 함유하며, K/Ca 비는 대략 9~10 정도를 유지하였다(Table 2). 아마도 이것은 쌍자엽식물에 비해 단자엽식물은 주어진 환경하에서 더 적은 Ca^{2+} 을 흡수하는 경향 때문이라 생각된다(Passama 1970, De Bilde 1978, Choo 1995). 일반적으로, 쌍자엽식물과는 달리 단자엽식물(특히 벼과와 사초과)은 종종 건생성 잎 구조(xeromorphic leaf structure)를 가지며 아주 뚜렷한 무기이온대사 양상을 보이는데 보통 체내 이온 함량은 적으나 상대적으로 K^{+} 가 지배적이다(K-선호성). 따라서 이들 식물은 토양의 Ca^{2+} , Na^{+} , 중금속 이온 등을 효율적으로 배제하며, 매우 효과적으로 자신의 무기이온 대사를 조절하는 것으로 여겨진다(Albert 1982, Kinzel 1982, Choo 1995). 특히 사초과의 대표적 구성원인 *Carex*속 식물은 이온이 풍부한 곳에서는 이온 배제자로, 이온이 부족한 곳에서는 이온 축적자로 작용함으로써 그들의 이온함량을 잘 조절할 수 있다(Choo 1995, Choo and Albert 1997). 따라서 단자엽 식물의 K^{+} 경향성과 염을 배제하는 능력이 비교적 높은 칼슘저항성에 직접적으로 연관된 것 같다.

결론적으로, 같은 분류단위에 속하는 식물(예, 명아주과, 사초과, 국화과 등)은 형태적인 유사성 뿐만 아니라 생리적으로도 유사한 대사양상을 보여줌으로써 생리

적인 특성이 각 식물의 생태적 행동에 많은 영향을 미침을 추측할 수 있다. 따라서 기존에 많이 다루어온 생태적인 호석회식물(calcicole)-협석회식물(calcifuge) 개념보다는 생리적인 토대(생리적 호갈습형 또는 협갈습형)로 접근하는 것이 식물종의 칼슘대사를 이해하는데 더 바람직하다고 여겨진다. 부가하여 분류단위의 생태적 행동을 보다 철저히 이해하는데 있어서는 각각의 식물체에 의해 흡수된 또는 생산된 음이온을 포함하여 가능한 많은 생리적 속성(광합성 양상, 수분관계, 무기이온 대사 등)의 고려를 필요로 할 것이다.

또한 이런 획득된 생리적 특질을 토대로 야외식물의 생장 실험시에 각 식물체의 칼슘대사 특성을 고려하여 배양액의 칼슘농도를 조절해 줌으로써 높은 Ca^{2+} 농도에 의한 생리적인 협갈습식물의 생장 및 생리적 저해효과를 피할 수 있을 것이다.

적 요

다양한 식물종의 종-특이적인 칼슘대사를 비교하기 위하여 1996년 생육기간동안 염습지, 사구, 석회암지대, 습지 등 다양한 무기이온 환경하에 서식하고 있는 40과, 94속, 127종을 채집·분석하여 그 결과에 따라 Ca 대사양상을 크게 5개의 그룹으로 분류하였다.

1) 중심자목(Centrospermales)의 명아주과, 석류과, 석죽과, 쇠비름과, 자리공과 및 마디풀과에 속하는 식물은 수용성 Ca은 거의 가지지 않지만 불용성 Ca(특히 Ca-옥살산염)을 다량 함유하는 것(명아주과형, 생리적 협갈습형), 2) 장미과의 식물처럼 유입되는 모든 Ca을 침전시키기에 불충분한 양의 oxalate를 생성하는 것(장미과형), 3) 돌나물과, 질경이과, 박주가리과, 남가새과 등의 식물처럼 다량의 수용성 Ca(250 μ mol/g DW 이상)을 함유하여 보통 1 이하의 K/Ca비를 나타내는 것(돌나물과형: 생리적 호갈습형), 4) 국화과에 속하는 식물종들은 토양의 Ca 함량 및 종간 차이 등에 따라 광범위한 K/Ca 비의 변동을 보이는 것(국화과형), 5) 위의 쌍자엽식물과는 대조적으로 단자엽에 속하는 벼과, 사초과, 꿀풀과의 식물은 다양한 환경내에서 일정한 K/Ca (8~10) 비를 보이고, 전체적으로 소량의 Ca을 함유하는 것(벼과형)으로 구분하였다.

위의 결과를 토대로 같은 분류단위에 속하는 식물은 형태적인 유사성 뿐만 아니라 생리적으로 유사한 대사양상을 보여줌으로써 생리적인 특성이 각 식물의 생태적 행동에 많은 영향을 미침을 추측할 수 있다. 따라서

기준에 많이 다루어온 생태적인 호식회식물(calcicole)-협석회식물(calcifuge) 개념보다는 생리적인 토대(생리적 호갈습형 또는 협갈습형)로 접근하는 것이 식물종의 Ca 대사를 이해하는데 더 바람직하다고 여겨진다.

감사의 글

본 논문을 작성하는데 풍부한 경험과 지식을 살려 조언해 주신 청주대학교 박용목 교수님께 진심으로 감사드리며, 또 여러 조언을 아끼지 않으신 두 분의 심사위원님께도 깊은 감사를 드립니다.

인용 문헌

- 강영희, 신영오. 1987. 식물영양학. 아카데미서적. p. 425.
- 박수현. 1995. 한국귀화식물원색도감. 일조각. p. 371.
- 안병영, 김정환, 김태훈. 1993. 석회암지역의 입지특성 - 단양, 정선, 평창, 영월, 삼척지역. 삼연 연보 34: 36-46.
- 이창복. 1989. 대한식물도감. 향문사. p. 990.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청. p. 450.
- 渡邊邦秋. 1996. 菊花과 植物의 系統과 進化. 種生物學研究 20: 11-25.
- Albert, R. and H. Kinzel. 1973. Unterscheidung von Physiotypen bei Halophyten des Neusiedlerseegebiets. Z. Pflanzenphysiol. 70: 138-157.
- Albert, R., H. Königshofer and H. Kinzel. 1980. Zur Osmoregulation einer physiologisch calciophoben undökologisch calcicolen Pflanze (*Dianthus lumitzeri* Wiesb.). Flora 169: 9-14.
- Albert, R. 1982. Halophyten. In H. Kinzel (ed), Pflanzenoekologie und Mineralstoffwechsel. Ulmer Verlag, Stuttgart. pp. 33-215.
- Barkla, B.J. and O. Pantoja. 1996. Physiology of ion transport across the tonoplast of higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Biochem. 47: 159-184.
- Choo, Y.-S. 1995. Mineral metabolism and organic solute pattern in *Carex* species of Austria - an ecophysiological approach. Ph. D. Thesis. Univ. Wien. p. 338.
- Choo, Y.-S and R. Albert. 1997. The physiotype concept - An approach integrating plant ecophysiology and systematics. Phytion 37: 93-106.
- De Bilde, J. 1978. Nutrient adaptation in native and experimental calcicolous and siliceous populations of *Silene nutans*. Oikos 31: 389-391.
- Ellenberg, H. 1958. Bodenreaktion einschliesslich Kalkfrage. Handbuch Pflanzen Physiologie, Vol. IV. Springer-Verlag, Berlin. pp. 638-708.
- Gigon, A. 1971. Vergleich alpiner Rasen auf Silikatund auf Karbonatboden; Konkurrenzund Stickstoffformenversuche sowie standortkundliche Untersuchung in *Nardetum* und im *Seslerietum* bei Davos. Veroeff. Geobot. Inst. ETH Stüt Rübel 48: 1-159.
- Gigon, A. 1987. A hierarchic approach in causal ecosystem analysis the calcifuge-calcicole problem in alpine glassland. In E. D. Schulze and H. Zwölfer (eds.). Ecological Studies. Vol. 61. Springer-Verlag, Berlin. pp. 228-244.
- Grime, J.P. and J.G. Hodgson. 1969. Ecological aspects of the mineral nutrition of plant. In I. H. Rorison (ed), Ecological aspects of mineral nutrition of plant. Blackwell, Oxford. pp. 67-99.
- Hager, A. and P. Hermsdorf. 1981. A H^+/Ca^{2+} antiporter in membranes of microsomal vesicles from maize coleoptiles, a secondary energized Ca^{2+} pump. Z. Naturforsch. 36: 1009-1012.
- Horak, O. 1971. Vergleichende Untersuchungen zum Mineralstoffwechsel der Pflanze. Ph. D. Thesis. Univ. Wien. p. 216.
- Horak, O. and H. Kinzel. 1971. Typen des Mineralstoffwechsels bei den höheren Pflanzen. Österr. Bot. Z. 119: 475-495.
- Hütterer, F. and R. Albert. 1993. An physiological investigation of plants from a habitat in Zwingendorf (Lower Austria) containing Glauber's salt. Phytion 33: 139-168.
- Iljin, W.S. 1936. Zur Physiologie der kalkfeindlichen Pflanzen. Beih. bot. Zbl. 54: 569-598.
- Iljin, W.S. 1940. Boden und Pflanzen II. Physiologie und Biochemie der Kalk- und Kieselpflanzen. Abhandl. russ. Forschungsges. Prag 10: 75-116.
- Iljin, W.S. 1944. Der Stoffwechsel des Stickstoffs bei der Kalkchlorose der Pflanzen. Jahrb. wiss. Bot.

- 91: 404-438.
- Kim, J.-H., H.-T. Mun and Y.-S. Kwak. 1990. Community structure and soil properties of the *Pinus densiflora* forests in the limestone areas. Korean J. Ecol. 13: 285-295.
- Kim, J.-H., Y.-S. Kwak and H.-T. Mun. 1992. Classification of calcicoles and calcifuges on the basis of the ratio of soluble to insoluble Ca^{2+} and Mg^{2+} in the leaves. Korean J. Ecol. 15: 311-328.
- Kinzel, H. 1972. Biochemische Pflanzenoekologie. Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwiss. Kenntn. in Wien 112: 77-98.
- Kinzel, H. 1982. Pflanzenoekologie und Mineralstoffwechsel. Ulmer Verlag, Stuttgart. pp. 216-380.
- Kinzel, H. 1983. Influence of limestone, silicates and soil pH on vegetation. In O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond & H. Ziegler (eds.). Encyclopedia of Plant Physiology. New Series, Vol. 12C. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. pp. 201-244.
- Kinzel, H. 1984. Contribution to the characterization and visualization of a taxon-specific (physiotypic) mineral metabolism. Flora 176: 25-36.
- Kinzel, H. 1989. Calcium in the vacuoles and cell wall of plant tissue. Flora 182: 99-125.
- Kinzel, H. and W. Berger. 1992. Comparative investigations on two different types of K/Ca metabolism: *Kalanchoe* and *Zea*. Phytol. 31: 307-321.
- Kinzel, H. and I. Lechner. 1992. The specific mineral metabolism of selected plant species and its ecological implication. Bot. Acta 105: 355-361.
- Königshofer H., R. Albert and H. Kinzel. 1979. Ein ungewöhnliches Zucker-Spektrum bei *Dianthus lummitzeri*. Z. Pflanzenphysiol. 92: 449-453.
- Larcher, W. 1995. Physiological plant ecology. Springer, Berlin. p. 506.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. p. 889.
- Passama, L. 1970. Composition minerale de diverses especes calciocoles et calcifuges de la region Mediterranee Française. Oecologia Plantarum 5: 225-246.
- Pollack, J. and R. Albert, 1990. Physiological characterization of Boraginaceae with regard to their ecological status. Flora 184: 151-168.
- Rattenböck, H. 1978. Chemisch-Physiologische Charakterisierung der Brassicaceae. Ein Beitrag zum Physiotypen-Konzept. Ph. D. Thesis. Univ. Wien, p. 359.
- Rorison, I. H. and D. Robinson. 1984. Calcium as an environmental variable. Plant Cell Environ. 7: 381-390.
- Rössner, H. and M. Popp. 1986. Ionic patterns in some Crassulaceae from Austrian habitats. Flora 178: 1-10.
- Schinas, S. and D. L. Rowell. 1977. Lime-induced chlorosis. J. Soil Sci. 28: 351-368.
- Stahl, E. 1920. Zur Physiologie und Biologie der Exkrete. Flora 113: 1-132.

(1997월 11월 10일 접수)

Appendix 1. Plant species (127 species belonging to 94 genera, 40 families) collected from different habitats and contents of water-soluble cations and water insoluble (acid- and salt-soluble) Ca (Some species were collected at 2~4 times). n.d.: not determined. For site numbers, refer to Table 1.

Plant species	Soil exchangeable cations				Water-soluble			Water-insoluble Ca			Insoluble soluble	
	Site		mmolc./100g		$\mu\text{mol/g}$ plant water		$\mu\text{mol/g}$ DW		(mmol/g DW)		Ca ($\mu\text{mol/g}$ DW)	
	No.	K	Ca	K/Ca	K	Ca	K	Ca	Acid ext.	NaCl ext.	Acid ext.	NaCl ext.
Typhaceae												
<i>Typha orientalis</i>	5	0.08	3.65	0.02	172.7	25.5	453.8	67.1	286.3	146.7	219.1	79.6
Hydrocharitaceae												
<i>Hydrocharis dubia</i>	19	0.32	2.45	0.13	92.1	2.7	1,083.7	31.4	105.4	459.7	73.9	428.3
Cyperaceae												
<i>Carex humilis</i>	7	0.25	1.59	0.16	237.3	8.8	484.4	18.0	156.7	312.6	138.7	294.6
<i>Carex japonica</i>	2	5.17	12.18	0.42	252.2	18.9	676.9	50.8	55.1	321.8	4.4	271.0
<i>Carex kobomugi</i>	5	0.08	3.65	0.02	199.5	32.8	393.1	64.7	201.1	123.9	136.4	59.2
<i>Carex lanceolata</i>	16	0.53	3.05	0.17	232.4	26.2	677.3	76.3	149.7	302.9	73.4	226.6
<i>Carex maximowiczii</i>	13	0.25	5.46	0.05	244.8	54.9	320.7	71.9	171.9	73.3	100.0	1.4
<i>Carex maximowiczii</i>	12	0.87	11.87	0.07	320.4	34.6	692.7	74.7	199.7	354.2	125.0	279.5
<i>Carex punilla</i>	4	0.29	6.76	0.04	184.1	26.4	453.1	64.9	169.7	336.5	104.8	271.5
<i>Carex siderosticta</i>	10	0.21	2.15	0.10	213.0	38.1	436.3	78.0	240.4	166.5	162.4	88.5
<i>Carex sp.</i>	14	0.42	7.69	0.05	190.1	12.5	995.4	65.5	203.4	856.4	137.8	790.8
<i>Scirpus flaviatilis</i>	1	0.32	1.96	0.16	275.0	24.5	548.3	48.8	139.4	303.6	90.6	254.8
<i>Scirpus flaviatilis</i>	11	0.36	8.74	0.04	315.5	42.7	790.5	106.9	203.1	n.d.	96.3	n.d.
<i>Scirpus radicans</i>	5	0.08	3.65	0.02	193.7	34.1	477.5	84.1	90.3	357.5	6.2	273.4
<i>Scirpus triquetar</i>	12	0.87	11.87	0.07	211.6	20.8	699.0	68.6	137.2	316.9	68.6	248.3
Gramineae	12	0.87	11.87	0.07	201.4	24.7	459.9	56.5	186.7	354.5	130.2	298.0
<i>Arthraxon hispidus</i>	5	0.08	3.65	0.02	145.6	31.9	521.5	114.1	225.8	419.8	111.7	305.7
<i>Arthraxon hispidus</i>	1	0.32	1.96	0.16	137.7	21.0	681.1	103.8	276.3	837.6	172.5	733.8
<i>Arundinella hirta</i>	14	0.42	7.69	0.05	194.1	15.4	867.7	69.1	186.4	714.1	117.3	645.0
<i>Beckmannia syzigachne</i>	13	0.25	5.46	0.05	218.2	25.2	570.2	65.9	68.6	311.4	2.7	245.5
<i>Phragmites communis</i>	14	0.42	7.69	0.05	195.3	19.8	749.4	76.0	276.2	342.9	200.2	266.9
<i>Phragmites japonica</i>	4	0.29	6.76	0.04	172.8	32.5	657.5	123.7	236.0	203.0	112.3	79.3
<i>Zoysia macrostachya</i>	23	0.60	13.11	0.05	237.2	23.8	657.5	66.1	190.4	337.1	124.3	271.0
<i>Zoysia sinica</i>	10	0.21	2.15	0.10	264.3	24.9	483.3	45.6	160.8	111.3	115.2	65.7
Commelinaceae	17	0.41	2.94	0.14	256.9	47.5	359.8	66.6	202.6	118.4	136.1	51.9
<i>Commelina communis</i>	16	0.53	3.05	0.17	180.0	15.6	750.3	65.2	208.5	282.7	143.4	217.6
Iridaceae	20	0.11	8.39	0.01	141.7	2.9	626.7	12.8	400.5	48.1	387.6	35.3
Juncaceae	5	0.08	3.65	0.02	182.1	20.2	707.0	78.6	365.2	395.2	286.6	316.6
<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i>	5	0.08	3.65	0.02	224.8	41.6	404.5	74.9	152.0	333.3	77.1	258.3
Liliaceae	1	0.32	1.96	0.16	252.0	16.7	719.7	47.8	81.3	372.6	33.4	324.8

Appendix 1. Continued

Plant species	Soil exchangeable cations				Water-soluble			Water-insoluble Ca			Insoluble-soluble	
	Site No.	mmolc / 100g		K / Ca	$\mu\text{mol} / \text{g DW}$		Ca	mmol / g DW		$\mu\text{mol} / \text{g DW}$		
		K	Ca		K	Ca		Acid ext.	NaCl ext.	Acid ext.	NaCl ext.	
<i>Asparagus schoberioides</i>	14	0.42	7.69	0.05	228.3	28.2	699.0	86.4	241.3	572.4	155.0	486.0
<i>Comvallaria keiskei</i>	14	0.42	7.69	0.05	177.5	51.2	624.1	179.9	437.5	601.0	257.6	421.0
<i>Lilium cernuum</i>	14	0.42	7.69	0.05	108.9	18.1	1,020.2	169.8	301.0	1,193.0	131.2	1,023.2
<i>Liriope platyphylla</i>	7	0.25	1.59	0.16	153.7	4.7	549.4	16.8	203.4	330.6	186.6	313.8
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluniflorum</i>	13	0.25	5.46	0.05	191.8	19.2	756.4	75.7	350.1	125.6	274.5	49.9
<i>Veratrum maackii</i>	14	0.42	7.69	0.05	152.3	17.5	851.0	97.8	421.7	431.3	324.0	333.6
Orchidaceae												
<i>Cephalanthera erecta</i>	14	0.42	7.69	0.05	155.7	24.4	724.2	113.3	279.3	416.7	166.0	303.4
<i>Platanthera sachalinensis</i>	13	0.25	5.46	0.05	24.4	12.4	214.7	109.0	297.7	421.2	188.7	312.1
<i>Pogonia minor</i>	9	0.26	2.74	0.09	127.6	17.0	854.2	113.7	313.0	257.1	199.3	143.4
Cannabinaceae												
<i>Humulus japonicus</i>	4	0.29	6.76	0.04	143.3	109.3	304.0	231.7	425.2	582.1	193.5	350.4
<i>Humulus japonicus</i>	15	0.36	14.60	0.02	239.9	124.6	505.2	262.3	413.0	630.8	150.7	368.5
Polygonaceae												
<i>Persicaria cochinchinensis</i>	20	0.11	8.39	0.01	128.5	2.5	277.8	5.4	254.3	264.6	248.9	259.2
<i>Persicaria hydropiper</i>	10	0.21	2.15	0.10	171.9	2.0	526.6	6.0	371.7	24.6	365.6	18.6
<i>Persicaria hydropiper</i>	4	0.29	6.76	0.04	115.6	1.9	322.7	15.3	475.5	9.8	470.2	4.5
<i>Persicaria perfoliata</i>	2	5.17	12.18	0.42	59.7	14.1	314.3	74.1	217.5	362.6	143.3	288.5
<i>Persicaria thunbergii</i>	6	0.23	11.37	0.02	80.7	11.2	311.6	43.2	402.0	348.3	358.8	305.1
<i>Persicaria thunbergii</i>	23	0.60	13.11	0.05	83.2	2.0	373.6	8.9	601.6	352.4	592.8	343.6
<i>Rumex crispus</i>	3	0.80	5.03	0.16	112.6	0.9	658.4	5.5	96.9	260.8	91.4	255.4
<i>Rumex crispus</i>	10	0.21	2.15	0.10	168.9	1.4	971.3	8.1	365.8	240.2	357.8	232.1
<i>Rumex crispus</i>	15	0.60	13.11	0.05	127.8	0.4	1,420.9	4.4	141.0	333.4	136.6	329.0
<i>Rumex crispus</i>	23	0.29	6.76	0.04	136.4	6.1	654.4	29.4	365.7	37.8	336.3	8.4
<i>Rumex japonicus</i>	4	0.36	14.60	0.02	78.5	3.6	598.2	27.3	217.7	260.2	190.5	232.9
<i>Rumex japonicus</i>	21	0.40	10.26	0.04	132.4	3.0	1,348.9	30.9	298.6	263.6	267.7	232.6
Aizoaceae												
<i>Tetragonia tetragonoides</i>	16	0.53	3.05	0.17	177.8	0.7	1,232.4	4.9	210.8	264.4	205.9	259.6
Caryophyllaceae												
<i>Stellaria aquatica</i>	1	0.32	1.96	0.16	162.2	2.7	1,135.4	19.1	232.9	376.6	13.8	357.5
<i>Stellaria aquatica</i>	23	0.60	13.11	0.05	185.7	0.6	1,819.5	5.4	278.0	262.4	272.5	256.9
Chenopodiaceae												
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centronabrum</i>	2	5.17	12.18	0.42	232.0	4.2	1,456.1	26.4	503.8	262.3	477.4	235.9
<i>Chenopodium ficifolium</i>	20	0.11	8.39	0.01	444.8	2.0	1,350.8	6.1	278.5	275.8	572.4	269.7
<i>Chenopodium glaucum</i>	2	5.17	12.18	0.42	217.2	1.7	1,381.5	10.8	329.8	291.8	319.1	281.0
<i>Chenopodium virgatum</i>	16	0.53	3.05	0.17	310.7	7.5	1,141.4	27.4	302.5	257.4	275.1	230.0
<i>Salicornia herbacea</i> (green stem)	22	1.78	3.61	0.49	59.8	3.6	449.6	27.3	239.0	300.6	211.7	273.2
<i>Salicornia herbacea</i> (red stem)	22	1.78	3.61	0.49	89.4	15.8	373.1	66.1	183.2	298.7	117.1	232.6

<i>Salsola komarovii</i>	16	0.53	3.05	0.17	117.1	5.1	679.1	29.4	270.8	261.1	241.4	231.6
<i>Suaeda asparagoides</i>	17	0.41	2.94	0.14	108.3	2.8	919.3	24.1	276.6	258.7	252.5	234.6
Phytolaccaceae												
<i>Phytolacca esculenta</i>	1	0.32	1.96	0.16	183.6	0.7	1,414.7	5.5	202.8	269.7	197.2	264.2
Portulacaceae												
<i>Portulaca oleracea</i>	21	0.40	10.26	0.04	106.8	0.6	754.8	4.5	321.1	263.8	316.5	259.3
Ranunculaceae												
<i>Aconitum juluence</i>	7	0.25	1.59	0.16	184.9	20.5	493.6	118.9	279.9	388.1	161.0	269.2
<i>Calltha palustris</i> var. <i>membranacea</i>	6	0.23	11.37	0.02	186.6	55.3	742.0	220.1	381.0	650.2	160.9	430.2
<i>Clematis mandshurica</i>	2	5.17	12.18	0.42	164.2	27.3	626.9	104.1	244.5	426.0	140.3	321.8
<i>Clematis mandshurica</i>	13	0.25	5.46	0.05	289.0	50.6	538.2	94.3	256.0	406.5	161.7	312.1
<i>Hepatica asiatica</i>	7	0.25	1.59	0.16	215.5	28.8	752.6	100.5	235.8	437.5	135.4	337.1
<i>Pulsatilla koreana</i>	13	0.25	5.46	0.05	132.1	49.8	349.0	131.7	355.9	304.5	224.2	172.8
<i>Ranunculus japonicus</i>	6	0.23	11.37	0.02	102.2	27.0	522.4	137.8	393.9	505.2	256.1	367.4
Crassulaceae												
<i>Orostachys malacophyllus</i>	3	0.80	5.03	0.16	30.8	38.3	550.6	685.4	875.1	1,570.2	189.6	884.8
<i>Sedum kamshaticum</i>	18	0.80	7.25	0.11	34.6	87.0	299.8	754.3	805.4	948.5	51.1	194.2
<i>Sedum sarmentosum</i>	2	5.17	12.18	0.42	47.0	38.8	715.0	590.2	650.8	911.4	60.7	321.2
<i>Sedum telephium</i> var. <i>purpureum</i>	8	0.28	2.81	0.10	119.4	11.1	396.1	225.9	259.2	606.6	33.4	380.7
Leguminosae												
<i>Kummerowia stipulacea</i>	20	0.11	8.39	0.01	141.4	84.3	264.6	157.7	241.4	468.8	83.7	311.1
<i>Lespedeza pilosa</i>	1	0.32	1.96	0.16	169.9	39.0	391.4	89.9	128.4	152.2	38.5	62.3
<i>Trifolium repens</i>	4	0.29	6.76	0.04	155.4	38.8	569.0	141.9	364.0	467.1	222.1	325.2
<i>Vicia amurensis</i>	15	0.36	14.60	0.02	116.4	33.1	289.6	82.2	198.8	278.9	116.6	196.7
<i>Vicia angustifolia</i> var. <i>segetilis</i>	3	0.80	5.03	0.16	231.3	51.9	467.2	104.9	760.0	n.d.	655.0	n.d.
<i>Vicia cracca</i>	11	0.36	8.74	0.04	112.4	27.1	427.3	103.2	462.7	1,195.1	359.6	1,091.9
Rosaceae												
<i>Agrimonia pilosa</i>	14	0.42	7.69	0.05	188.1	30.2	576.1	192.5	327.7	344.2	235.2	251.7
<i>Sanguisorba officinalis</i>	13	0.25	5.46	0.05	149.2	73.5	419.4	206.6	542.9	520.3	336.3	313.7
<i>Sanguisorbas officinalis</i>	1	0.32	1.96	0.16	137.8	47.4	370.7	143.3	388.9	418.2	245.6	274.9
Saxifragaceae												
<i>Saxifraga stolonifera</i>	7	0.25	1.59	0.16	41.0	7.9	383.5	73.7	270.9	358.9	197.2	285.2
Euphorbiaceae												
<i>Acalypha australis</i>	20	0.11	8.39	0.01	177.0	93.0	462.9	243.2	411.1	563.7	167.9	320.5
<i>Euphorbia helioscopia</i>	3	0.80	5.03	0.16	95.9	54.6	427.4	243.3	402.8	563.7	159.5	320.5
<i>Euphorbia maculata</i>	20	0.11	8.39	0.01	117.8	52.7	331.9	104.9	105.5	1,267.5	0.6	1,162.6
<i>Phyllanthus ussuriensis</i>	20	0.11	8.39	0.01	132.3	76.3	250.1	144.3	287.4	286.1	143.1	141.8
Oxalidaceae												
<i>Oxalis corniculata</i>	2	5.17	12.18	0.42	181.4	21.1	940.7	109.5	241.2	n.d.	131.7	n.d.
Zygophyllaceae												
<i>Tribulus terrestris</i>	17	0.41	2.94	0.14	233.8	150.3	764.9	491.7	601.6	839.4	110.0	347.7
Sterculiaceae												
<i>Corchoropsis psilocarpa</i>	21	0.40	10.26	0.04	239.6	29.7	542.4	67.1	511.5	188.3	444.4	121.2

Appendix 1. Continued

Plant species	Soil exchangeable cations						Water-soluble			Water-insoluble Ca			Insoluble-soluble			
	Site		mmolc / 100g		K / Ca		$\mu\text{mol} / \text{g DW}$			(mmol / g DW)			$\mu\text{mol} / \text{g DW}$			
	No.	K	Ca	K	Ca	K	Ca	K	Ca	Ca	Acid ext.	NaCl ext.	Ca	Acid ext.	NaCl ext.	
Violaaceae																
<i>Viola albidia</i>	23	0.60	13.11	0.05	191.2	13.6	926.4	66.1	291.3	266.9	225.2	200.9				
Onagraceae																
<i>Oenothera odorata</i>	20	0.11	8.39	0.01	72.2	43.1	334.8	200.2	612.6	285.0	412.4	84.8				
Umbelliferae																
<i>Angelica gigas</i>	7	0.25	1.59	0.16	197.8	1.9	942.2	8.9	224.2	254.5	215.3	245.6				
<i>Angelica gigas</i>	14	0.42	7.69	0.05	209.4	9.1	875.2	38.0	315.1	309.4	277.1	271.4				
<i>Glehnia littoralis</i>	16	0.53	3.05	0.17	193.4	59.6	814.1	250.8	480.2	543.4	229.4	292.6				
<i>Glehnia littoralis</i>	17	0.41	2.94	0.14	155.8	48.1	713.0	220.2	358.9	481.1	138.7	260.9				
<i>Oenanthe javanica</i>	23	0.60	13.11	0.05	191.4	108.4	852.8	483.1	629.9	745.6	146.8	262.6				
<i>Peucedanum japonicum</i>	18	0.80	7.25	0.11	191.8	166.5	468.9	407.1	407.8	753.1	0.6	346.0				
Pyrolaceae																
<i>Pyrola japonica</i>	14	0.42	7.69	0.05	116.4	37.4	303.0	97.4	227.2	155.1	129.8	57.6				
Primulaceae																
<i>Lysimachia clethroides</i>	20	0.32	1.96	0.16	127.4	23.6	576.1	106.9	346.7	389.8	239.8	282.9				
<i>Lysimachia clethroides</i>	1	0.11	8.39	0.01	158.9	178.8	278.5	313.2	354.6	582.7	41.4	269.5				
Asclepiadaceae																
<i>Metaplexis japonica</i>	20	0.11	8.39	0.01	149.6	122.9	676.4	555.8	595.5	827.1	39.7	271.3				
Gentianaceae																
<i>Gentiana scabra</i> var. <i>buergeri</i>	13	0.32	1.96	0.16	85.2	11.7	431.8	59.5	208.4	109.8	148.9	50.4				
<i>Gentiana scabra</i> var. <i>buergeri</i>	1	0.25	5.46	0.05	123.6	16.1	452.0	59.0	195.5	302.8	136.4	243.8				
Convolvulaceae																
<i>Calystegia japonica</i>	4	0.29	6.76	0.04	70.0	24.3	257.4	89.2	306.8	338.3	217.6	249.0				
<i>Calystegia soldanella</i>	3	0.80	5.03	0.16	123.1	1.8	730.8	10.7	217.3	467.6	206.6	456.9				
<i>Calystegia soldanella</i>	16	0.53	3.05	0.17	87.4	22.9	654.4	171.1	441.4	410.4	270.3	239.2				
<i>Ipomoea hederacea</i>	20	0.11	8.39	0.01	68.1	118.9	305.1	532.6	666.6	649.5	134.0	116.8				
<i>Ipomoea purpurea</i>	20	0.11	8.39	0.01	178.8	22.6	849.8	107.5	250.2	438.2	142.7	330.7				
Labiatae																
<i>Isodon inflexus</i>	13	0.25	5.46	0.05	157.2	17.1	639.3	69.4	315.7	316.5	246.3	247.1				
<i>Isodon japonicus</i>	21	0.40	10.26	0.04	126.3	10.3	629.7	51.3	358.9	414.3	307.6	363.0				
<i>Lamium amplexicaule</i>	2	5.17	12.18	0.42	105.1	48.0	552.5	252.1	473.7	n.d.	221.5	n.d.				
<i>Nepeta cataria</i>	6	0.23	11.37	0.02	168.6	26.4	582.7	91.3	289.6	460.8	198.3	369.5				
<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>lilacina</i>	9	0.26	2.74	0.09	186.2	11.7	664.1	41.8	150.9	354.8	109.1	313.0				
<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>lilacina</i>	13	0.25	5.46	0.05	159.1	14.7	700.7	64.9	235.4	301.7	170.6	236.8				
Solanaceae																
<i>Datura tatula</i>	20	0.11	8.39	0.01	186.0	0.9	1,047.6	5.2	455.8	283.2	450.7	278.0				
Plantaginaceae																
질경이과	6	0.23	11.37	0.02	79.9	100.8	428.3	539.9	557.0	851.6	17.1	311.7				

<i>Plantago camischatica</i>	3	0.80	5.03	0.16	62.5	55.3	382.4	338.1	476.8	396.2	138.7	58.1
<i>Plantago lanceolata</i>	20	0.11	8.39	0.01	74.0	85.7	513.7	595.2	676.1	876.0	80.9	280.8
Rubiaceae												
<i>Asperula maximowiczii</i>	14	0.42	7.69	0.05	89.6	27.6	639.1	197.2	474.1	608.2	276.9	411.0
<i>Galium trachyspermum</i>	14	0.42	7.69	0.05	187.5	28.7	863.4	132.1	440.2	n.d.	308.0	n.d.
Valerianaceae												
<i>Putinia scabiosaefolia</i>	13	0.25	5.46	0.05	167.8	25.6	492.9	75.1	280.3	343.7	205.2	268.6
<i>Patrinia villosa</i>	13	0.25	5.46	0.05	133.0	20.5	542.5	83.7	278.4	359.3	194.7	275.7
Campanulaceae												
<i>Codonopsis lanceolata</i>	2	5.17	12.18	0.42	140.5	41.7	698.6	207.4	319.0	226.6	111.7	19.2
Compositae												
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>	20	0.11	8.39	0.01	183.9	97.9	569.7	303.2	784.1	467.4	480.9	164.2
<i>Argeratum conyzoides</i>	18	0.80	7.25	0.11	284.8	78.3	367.9	101.1	274.5	394.7	173.4	293.5
<i>Artemisia japonica</i>	15	0.36	14.60	0.02	173.2	16.4	977.1	92.5	218.8	465.9	126.3	373.4
<i>Artemisia keiskeana</i>	13	0.25	5.46	0.05	436.3	18.3	1,436.8	60.3	333.2	357.9	272.9	297.6
<i>Artemisia rubripes</i>	23	0.60	13.11	0.05	223.2	30.0	1,050.1	141.3	319.2	420.6	177.9	279.3
<i>Artemisia scoparia</i>	18	0.80	7.25	0.11	187.9	34.5	550.9	101.2	154.8	989.6	53.6	888.5
<i>Artemisia selengensis</i>	11	0.36	8.74	0.04	214.0	4.0	859.0	16.2	272.9	339.5	256.7	323.3
<i>Artemisia</i> sp. (young)	4	0.29	6.76	0.04	207.1	19.2	697.3	64.5	157.5	431.7	93.0	367.1
<i>Aster scaber</i>	9	0.26	2.74	0.09	177.0	9.4	712.8	37.9	259.5	326.5	221.6	288.6
<i>Aster scaber</i>	13	0.25	5.46	0.05	181.0	13.6	1,030.1	77.2	317.9	341.5	240.7	264.3
<i>Aster spathulifolius</i>	18	0.80	7.25	0.11	95.5	22.9	378.6	90.7	277.9	360.5	187.2	269.8
<i>Bidens bipinnata</i>	20	0.11	8.39	0.01	190.9	47.7	640.6	160.0	349.6	505.5	189.6	345.5
<i>Cephalanoplos segetum</i>	21	0.40	10.6	0.04	107.5	97.8	795.6	723.4	726.1	1,045.1	2.7	321.7
<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>ussuriense</i>	13	0.25	5.46	0.05	144.0	73.8	866.1	444.1	554.4	803.4	110.3	359.4
<i>Erigeron annuus</i>	15	0.36	14.60	0.02	221.9	24.2	847.2	92.4	287.3	355.0	194.9	262.6
<i>Erigeron annuus</i> (basal leaf)	21	0.40	10.26	0.04	187.3	11.8	767.7	48.5	122.0	376.3	73.5	327.8
<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>simplicifolium</i>	1	0.32	1.96	0.16	113.6	27.2	516.1	123.7	185.6	470.4	61.9	346.7
<i>Helianthus tuberosus</i>	21	0.40	10.26	0.04	220.0	56.5	751.6	193.0	573.8	588.2	380.8	395.2
<i>Hemistepta lyrata</i>	13	0.25	5.46	0.05	95.4	33.9	640.7	227.5	406.2	n.d.	178.7	n.d.
<i>Ixeris chinensis</i> var. <i>strigosa</i>	1	0.32	1.96	0.16	131.3	35.7	671.4	182.5	275.6	n.d.	193.2	n.d.
<i>Ixeris chinensis</i> var. <i>strigosa</i>	20	0.11	8.39	0.01	184.2	36.9	892.5	178.7	338.0	535.6	159.4	356.9
<i>Lactuca indica</i> var. <i>lactiniata</i>	21	0.40	10.26	0.04	154.3	98.1	635.9	404.3	515.8	726.8	11.5	322.6
<i>Leibnitzia anandria</i>	13	0.25	5.46	0.05	154.0	18.0	777.6	90.8	428.0	n.d.	337.2	n.d.
<i>Ligularia fischeri</i>	13	0.25	5.46	0.05	160.2	6.5	888.5	36.3	268.7	289.0	232.4	252.8
<i>Petasites japonicus</i>	2	5.17	12.18	0.42	177.4	9.0	926.0	46.8	207.0	269.7	160.2	222.9
<i>Rhaponticum uniflora</i>	13	0.25	5.46	0.05	205.9	37.5	556.9	101.3	226.2	348.8	124.9	247.5
<i>Taraxacum officinale</i>	20	0.11	18.39	0.01	202.6	29.6	1,067.6	156.0	315.4	488.5	159.4	332.5
<i>Xanthium canadense</i>	16	0.53	3.05	0.17	106.7	86.4	366.0	296.2	668.2	601.0	372.0	304.7

개질경이
창질경이
꼭두서니과개갈퀴
네잎갈퀴
마타리과마타리
뚝갈
초물꽃과더덕
국화과돼지풀
등글나물-아재비
제비꽃
맑은대쭉
덤불쭉
비쭉
물쭉참취
참취
해국
도깨비바늘
조랭이
흰가시영정취
개망초
개망초
등글나물
뚝단지
지창개
선쭉마귀
선쭉마귀
왕고들빼기
송나물
곰취
머위
빼꼭채
서양민들레
큰도꼬마리*Plantago camischatica*
Plantago lanceolata
Rubiaceae
Asperula maximowiczii
Galium trachyspermum
Valerianaceae
Putinia scabiosaefolia
Patrinia villosa
Campanulaceae
Codonopsis lanceolata
Compositae
Ambrosia artemisiifolia var. *elatior*
Argeratum conyzoides
Artemisia japonica
Artemisia keiskeana
Artemisia rubripes
Artemisia scoparia
Artemisia selengensis
Artemisia sp. (young)
Aster scaber
Aster scaber
Aster spathulifolius
Bidens bipinnata
Cephalanoplos segetum
Cirsium japonicum var. *ussuriense*
Erigeron annuus
Erigeron annuus (basal leaf)
Eupatorium chinense var. *simplicifolium*
Helianthus tuberosus
Hemistepta lyrata
Ixeris chinensis var. *strigosa*
Ixeris chinensis var. *strigosa*
Lactuca indica var. *lactiniata*
Leibnitzia anandria
Ligularia fischeri
Petasites japonicus
Rhaponticum uniflora
Taraxacum officinale
Xanthium canadense