

정족산 무제치늪 식물의 무기이온, 질소 및 인의 양상

배정진* · 추연식 · 송승달

경북대학교 자연과학대학 생물학과

적 요: 고층습지식물의 생리생태학적 특성을 규명하기 위하여 경상남도 양산시에 위치한 정족산 무제치늪에 서식하는 14과 22종의 식물을 대상으로 체내 무기양이온(K, Ca, Mg), 중금속이온(Al, Fe, Mn), 질소 및 인 함량의 계절적인 변화를 정량적으로 분석하였다. 무제치의 물은 15~30 μ S/cm의 전기전도도(EC)와 pH 5.0~5.6 (토양 4.3~5.1)의 산도를 나타내었으며, Ca, Mg과 같은 2가 양이온의 함량이 낮은 반면 높은 중금속함량(특히 Al)을 보여 전형적인 산성토양의 특성을 보였다. 조사된 습지식물은 무기양이온함량에 있어 중간 뚜렷한 차이를 보였으며, 골풀, 진피리새, 기장대풀, 억새, 진달래, 산철쭉, 개미담, 끈끈이주걱은 400 μ M/g DW 이하의 매우 낮은 함량을 나타내었으며, 동의나물, 숫잔대, 산제비난, 떡쇠채, 제비꽃, 바다나물은 체내 높은 무기양이온 함량을 보였다. 특히 국화과의 떡쇠채와 제비꽃과의 제비꽃은 Ca과 Mg을 축적하는 경향성을 보였으며, 생육이 진전됨에 따라 오이풀과 꽃창포의 무기양이온 함량은 점차 감소하는 양상을 나타내었다. 한편 조사된 대부분의 식물들은 토양의 높은 중금속 함량에도 불구하고 체내 낮은 농도의 중금속을 함유하였으며, 축적된 총 중금속함량 및 조성은 식물 중간에 뚜렷한 차이를 보였다. 토양의 낮은 질소 및 인 함량에도 불구하고 조사된 대부분의 식물종들은 생육초기단계에 있어 비교적 높은 질소 및 인 함유하였으며, 생육이 진전됨에 따라 서서히 감소하는 양상을 나타내었다. 결론적으로 무제치늪에 서식하는 식물종들은 생육초기에 무기양이온 및 질소를 축적하고 생육과정에 이를 재이용하고, 중금속을 배제하는 기작을 발달시킴으로서 빈영양의 산성 환경을 극복하는 것으로 생각된다.

검색어 : 고층습지, 무기양이온, 산성토양, 인, 중금속, 질소

서 론

기후, 토양의 환경조건 그리고 식물체의 미네랄 이용도는 식물의 분포에 매우 중요한 영향을 미친다(Albert and Kinzel 1973).

일반적으로 습지는 높은 지하수면(water-table)과 특이한 미네랄 조성, 산성 및 산소결핍의 문제들로 인해 습지 출현종은 특이한 생리생태학적 양상을 보인다(Marschner 1995).

침수환경에서 산소화산은 대기보다 104배 정도 낮기 때문에 습지의 토양내로 산소화산은 현저하게 감소하게 된다(Armstrong 1979). 산소의 부족으로 인한 미생물 발효의 결과 생성되는 CO₂, H⁻, CH₄ 등은 식물생장에 독성을 유발하며, 질화작용의 억제로 인한 NH₄⁺-N의 축적으로 근권 및 세포 내부의 산성화가 유발되는 것으로 알려져 있다(Raven 1979).

근권의 산화는 침수지 식물의 생존에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 이러한 환경에 적응하기 위해 식물은 통기조직(aerenchyma)의 발달과 같은 해부학적 생화학적 특성을 나타낸다(Justin and Armstrong 1987). 또한 고층습지는 산성환경으로 인해 철, 망간 및 알루미늄의 용해도가 증가하며, 금속이온의 과도한 흡수에 의해 이온독성, 미네랄 영양원의 결핍 등 다양한 생리적인 불균형이 초래된다(Martin 1968, Foy et al. 1978).

체내 과도한 망간은 마그네슘, 칼슘과 같은 미네랄 원소의 흡수 억제 및 옥신(auxin) 결핍을 유발함으로써 세포생장을 억제하며(Horst and Marschner 1978), 알루미늄이온은 독성뿐만 아니라 막 인지질과의 친화도가 칼슘보다 약 560배나 높아 뿌리의 이온 흡수 기능에 영향을 초래하는 것으로 알려져 있다(Akeson et al. 1989). 또한 철이온도 침수토양에 적응하지 못한 식물에게 있어 가장 중요한 생장억제요인으로 작용하게 된다(Ottow et al. 1982, Virmani 1977).

한편, 고층습지는 유기물의 느린 분해, 낮은 pH, 지표수의 정체 등으로 인해 미네랄의 농도가 매우 낮은 빈영양 서식지로 식충식물과 같은 특이한 종이 출현하며, 이들은 생존에 기본적으로 요구되는 미네랄을 이용하기 위해 수송세포(transfer cell)의 생성 및 흡수축진물질의 분비 혹은 흡수된 미네랄의 체내 재분배(retranslocation) 등의 방법을 이용하여 불리한 환경조건을 극복하는 것으로 알려져 있다(Larcher 1995).

본 연구에서는 경상남도 양산에 위치한 정족산 고층습원인 무제치늪(제4늪)을 대상으로 습지의 산소농도, 전기전도도, 수온 및 불용성·가용성 중금속(Al, Mn, Fe) 함량분석을 통해 고층습지의 환경조건을 이해하고, 이러한 환경에 적응하여 살아가는 출현 식물종의 생장반응과 체내 미네랄 대사의 특성을 밝힘으로써 고층습원 식물종의 생리생태학적 특성을 규명하고자 한다.

*Corresponding author; Phone: 82-53-950-5328, e-mail: jinibae@hanmail.net

재료 및 방법

환경분석

무제치늪(그림 1)의 토양과 수질 환경(Temp., DO, pH, 전기전도도)을 조사하기 위해 표층에서 10~15 cm 아래의 이탄층 토양을 채취하였으며, 물은 채수병을 이용하여 4월부터 9월까지 매월 1회 채수하였다.

습지의 용존산소, 전기전도도 및 산성도는 DO meter (YSI, model 58-115V), 전기전도도계(Check mate, 90: Mettler-Toledo), 그리고 pH meter(Orion, 420A)를 이용하여 측정하였으며, 1 N KCl로 30분간 진탕한 후 pH meter를 이용하여 잠산도(potential pH)를 측정하였다. 토양 및 식물체의 총 질소 함량과 총인 함량은 micro-Kjeldahl법(Song and Monsi, 1974)과 Vanadomolybdo-phosphoric acid법(Franson, 1985)으로 측정하였다. 토양의 양이온(K, Ca, Mg) 및 중금속(Mn, Fe, Al)함량을 측정하기 위해 토양시료를 풍건한 후 직경 1 mm의 채로 거른 후 고운 분말로 분쇄하여 1N NH4OAc로 추출하였으며, 습지 물(우수 포함)은 여과지(GF/C 47mm φ)로 여과 후 4배 농축하여 ICP (Inductively Coupled Plasma; Jobinyvon 38 plus)에 의해 정량분석하였다.

식물체의 채집 및 분석

식물체내 미네랄 분석을 위해 조사지역에 대표적으로 출현하는 초본 및 목본 14과 22종의 식물을 선택하여 생장이 양호한 일만을 채집하였다(Table 1).

채취한 잎은 70°C 건조기에서 72시간 동안 건조 후 건량(DW)을 측정하였으며, 토양 분석과 동일한 방법으로 총 질소 및 총인 함량을 측정하였다. 양이온(K, Ca, Mg) 및 중금속(Mn, Fe, Al) 함량은 측정을 위해 분쇄한 시료 0.5 g을 증류수와 1N HNO₃ (25 ml)로 100°C에서 1시간 중탕하여 여과지(GF/C 47mm φ)로 추출한 후 ICP (Inductively Coupled Plasma; Jobinyvon 38 plus)에 의해 정량 분석하였다.

결 과

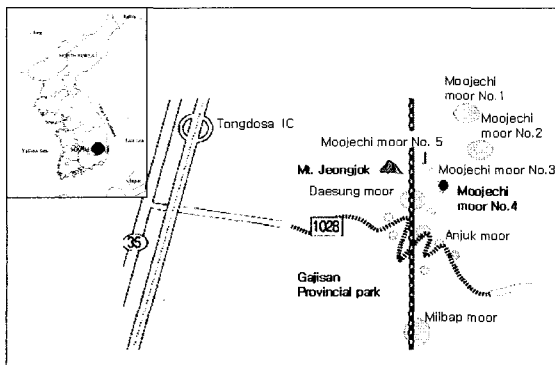


Fig. 1. The location area of studying area; Moojechi moors on Mt. Jeongjok.

Table 1. List of 22 plant species (14 families) investigated in Moojechi moor on Mt. Jeongjok

Plants name	Family name
<i>Molinia japonica</i> Hack. (진퍼리새)	Poaceae
<i>Isachne globosa</i> (Thunb.) O. (기장대풀)	"
<i>Misanthus sacchariflorus</i> Benth. (억새)	"
<i>Carex maximiwiczii</i> Miq. (왕비늘사초)	Cyperaceae
<i>Carex dickinsii</i> Fr. et Sav. (도깨비사초)	"
<i>Scleria fenestrata</i> Fr. et Sav. (너도고랭이)	"
<i>Elocharis attenuata</i> var. <i>laeviseta</i> (Nakai) Hara (참바늘골)	"
<i>Sirpus wichurea</i> Boeckl. (방울고랭이)	"
<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i> Buchen (골풀)	Juncaceae
<i>Iris ensata</i> var. <i>spontanea</i> (Mak.) Nakai (꽃창포)	Iridaceae
<i>Platanthera mandarinorum</i> Reichb. fil. (산제비난)	Orchidaceae
<i>Caltha palustris</i> var. <i>membranacea</i> Turcz. (동의나물)	Ranunculaceae
<i>Drosera rotundifolia</i> L. (끈끈이주걱)	Droseraceae
<i>Sanguisorba officinalis</i> L. (오이풀)	Rosaceae
<i>Viola mandshurica</i> W. Becker (제비꽃)	Vilvoaceae
<i>Haloragis micrantha</i> R. Br. (개미탑)	Halorrhagaceae
<i>Angelica decursiva</i> (Miq.) Fr. et Sav. (바디나물)	Umbelliferae
<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz. (진달래)	Ericaceae
<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i> (Lev) Nakai(산철쭉)	"
<i>Lobelia sessilifolia</i> Lamb. (숫잔대)	Campanulaceae
<i>Chrysanthemum lineare</i> Matsumura (키큰산국)	Compositae
<i>Scorzonnera austriaca</i> sub. <i>glabra</i> Lipschitz et Kraschen(떡쇠채)	"

토양 및 수질환경

무제치늪 수질의 계절적인 변화는 수온이 가장 높았던 8월에 가장 낮은 용존산소량(6 ppm)을 나타내었으며, 수온이 상승함에 따라 점차 감소하는 양상을 보여주었다(Table 2). 전기전도도(EC)는 15~30 μ S/cm사이의 값을 보였으며, K, Ca 그리고 Mg와 같은 무기양이온의 함량이 매우 낮은 빈영양 환경을 나타내었다(Table 4).

한편, 무제치늪의 pH는 5.0~5.6(토양 pH, 4.3~5.1)으로 계절에 따라 차이를 보이지만, 저층의 우포(pH 6.85)에 비해 매우 낮은 pH 값을 보였으며, 토양은 Ca와 Mg과 같은 2가 양이온의 함량이 낮은 반면 Al함량이 높아 전형적인 산성토양의 특성을 보여주었다(Table 3).

물의 수용성 무기이온은 토양과 유사한 양상을 보였으며, 우포늪에 비해서 K, Ca 그리고 Mg과 같은 필수원소의 함량이 매우 낮은 값을 나타내었다(Table 4).

식물체의 무기이온함량

습지에 출현하는 대표적인 식물의 체내 무기이온 양상은 Fig. 2와 같다.

조사된 습지식물의 무기양이온 함량은 중간 뚜렷한 차이를 보였는데 골풀, 진퍼리새, 기장대풀, 억새, 진달래, 산철쭉, 개미

Table 2. Water temperature, dissolved oxygen, pH and electrical conductivity in Moojechi moor on Mt. Jeongjok. Potential pH means soil pH extracted with 1 N KCl

Month	Temp. (°C)	DO (ppm)	pH		EC (μ S/cm)
			actual	(potential)	
4	8.6	10.9	5.51	(5.04)	15.5
5	18.5	8.4	5.04	(5.01)	21.2
6	20.9	6.5	5.25	(4.38)	26.6
7	22.6	6.7	5.39	(4.37)	22.2
8	22.7	6.0	5.28	(4.37)	26.7
9	17.1	7.7	5.56	(4.36)	24.9

Table 3. Seasonal changes of inorganic cation contents of soil in Moojechi moor. Parenthesis indicates soil cation contents in Upo wetland.

Month	Mineral element content (μ M/g Soil)					
	K	Mn	Fe	Mg	Ca	Al
4	160.62 (64.45)	0.57 (8.76)	97.77 (86.67)	5.18 (48.14)	11.48 (49.90)	340.28 (71.53)
5	51.41	0.40	108.87	4.69	10.98	209.03
6	28.65	1.97	45.30	3.17	5.99	154.92
7	25.19	4.44	45.12	2.52	3.64	112.67
8	27.62	3.42	59.81	2.75	5.44	179.75
9	65.48	0.40	42.97	5.10	12.38	154.55

Table 4. Seasonal changes of the inorganic cation contents of water in Moojechi moor. Parenthesis indicates water cation contents in Upo wetland

Month	Mineral element content (μ M/g Water)				
	K	Mn	Fe	Mg	Ca
4	3.31 (40.0)	0.05 (0.02)	0.01 (0.01)	6.99 (637.73)	16.90 (891.97)
5	14.20	0.15	0.02	10.7	39.11
6	15.79	0.12	0.02	7.41	11.91
7	10.93	0.11	ND	10.9	30.69
8	6.91	0.08	0.03	10.16	22.95
9	17.78	0.09	0.05	12.24	23.64

* ND : Not determined.

탐, 끈끈이주걱은 400 μ M/g DW이하의 매우 낮은 값을 보였으며, 동의나물, 숫잔대, 산제비난, 떡쇠채, 제비꽃, 바다나물은 체내 높은 무기양이온 함량을 보였다. 특히 국화과의 떡쇠채와 제비꽃과의 제비꽃은 벼과(진퍼리새, 기장대풀, 억새)와 사초과에 속하는 식물(왕비늘사초, 도깨비사초, 너도고랭이, 참바늘골, 방울고랭이)과는 대조적으로 Ca^{2+} , Mg^{2+} 을 축적하는 경향성을 보였으며, 오이풀과 꽃창포의 무기양이온 함량은 생육이 진행됨에 따라 점차 감소하는 양상을 나타내었다.

한편, 조사된 대부분의 식물은 토양의 높은 중금속함량에도 불구하고 체내 낮은 수용성 이온함량을 나타내었으며, 축적된 총 중금속함량 및 조성은 식물종 간에 뚜렷한 차이를 보였다(Fig. 3).

진퍼리새, 기장대풀, 억새, 산제비난, 왕비늘사초, 도깨비사초, 너도고랭이, 참바늘골, 방울고랭이, 오이풀, 제비꽃, 숫잔대는 식물은 토양의 매우 낮은 중금속함량에도 불구하고 Mn을 축적하는 경향을 보였으며, 동의나물, 끈끈이주걱은 Fe와 Al, 꽃창포, 제비꽃, 숫잔대에 속하는 식물은 Mn, Fe 및 Al을 축적하는 양상을 나타내었다.

질소 및 인의 함량

토양의 질소 및 인 함량은 식물생육 초기인 4~5월에 높은 값을 보였으며, 강우량의 증가 및 습지식물의 생육이 진전됨에 따라 점차 감소하는 양상을 나타내었다(Table 5).

Table 5. Seasonal changes of total soil nitrogen(exception of NO_3 -N) and phosphorus contents in Moojechi moor

Month	N (%)	P (%)
4	0.86 \pm 0.03	0.05 \pm 0.002
5	1.25 \pm 0.05	0.07 \pm 0.004
6	0.44 \pm 0.02	0.02 \pm 0.001
7	0.56 \pm 0.02	0.01 \pm 0.001
8	0.21 \pm 0.01	0.01 \pm 0.002
9	1.51 \pm 0.03	0.04 \pm 0.002

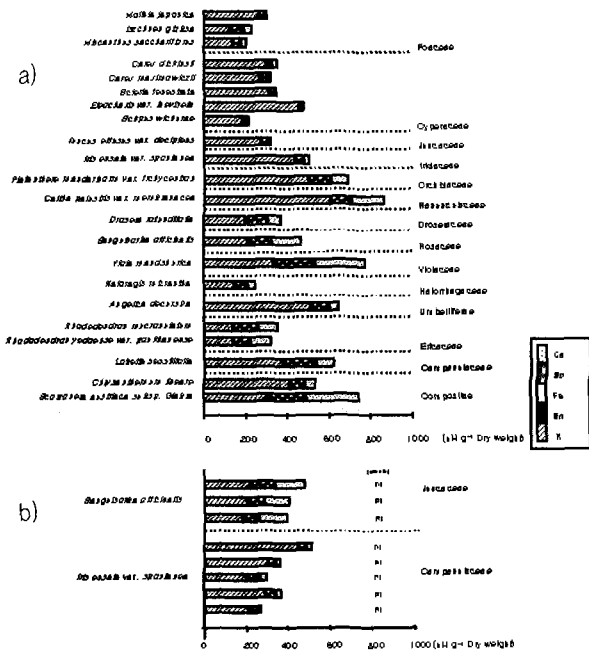


Fig. 2. a) Cation contents ($\mu\text{M/g DW}$) in the leaves of several plant species collected from Moojechi moor.
b) Seasonal changes of cation contents in the leaves of *S. officinalis* and *I. ensata* var. *spontanea*.

고찰

식물체내의 총 질소함량은 식물종 간에 뚜렷한 차이를 보이는데, 동의나물, 오이풀, 산제비난은 2.7% 이상의 높은 질소를 함유하였으며, 벼과의 진퍼리새, 사초과의 방울고랭이, 개미탑과의 개미탑 그리고 끈끈이귀개과의 끈끈이주걱은 1.1% 이하의 낮은 질소를 함유하였다(Table 6). 질소함량과 마찬가지로 식물체내 총인 함량도 종간 뚜렷한 차이를 보였다. 기장대풀, 진퍼리새, 방울고랭이, 산철쭉, 개미탑, 끈끈이주걱은 체내 매우 낮은 인을 함유하였으며, 오이풀, 숫잔대, 산제비난, 도깨비사초는 체내 많은 양의 인을 함유하였다. 무제치의 대표적인 식물인 오이풀과 꽃창포는 토양의 질소와 인의 함량이 높은 생육초기에 체내 많은 양의 질소와 인을 함유하였으며, 생육이 진전됨에 따라 점차 감소하는 양상을 보였다.

토양 산성화(soil acidification)는 세계도처에서 식물의 성장을 제한하는 요인으로 알려져 있다(Marschner 1991). 대부분의 습지는 약산성(pH 5~7)을 나타내지만 pH 4 이하의 강한 산성을 나타내는 습지도 보고되고 있다. 산성습지는 침수환경 하에서 혐기성이온의 용탈, 식물뿌리나 토양 미생물에 의한 유기산의 분비, 탈효와 호흡과정에서 생성된 탄산의 축적, 그리고 질화작용에 관여하는 *Kitrozomonas*와 *Kitrobactor*의 불활성으로 인한 NH_4^+ 의 축적 등에 의해 유발되는 것으로 알려져 있으며(Larcher 1995), 최근 들어 대기오염에 의한 산성강우로 인해 토양 산성화가 점차 고조되고 있는 상황이다.

고층습원인 정족산 무제치늪의 토양 및 수질환경(pH 5.0~5.6)은 저층습원인 우포(pH 6.85)에 비해 중금속 함량은 비교적 높게 나타났으며(특히 Al), Ca, Mg와 같은 필수무기원소는 낮은 함량을 보여 연중 산성의 빈영양을 나타내었다(Fig. 2).

무제치늪에 출현하는 골풀 및 벼과, 사초과에 속하는 식물은 체내 수용성 칼슘함량이 매우 낮은 생리적 혐칼슘종의 양상을 보였으며, 동의나물, 오이풀, 제비꽃, 떡쇠채 등은 체내 높은 수용성 칼슘을 함유하는 생리적인 호칼슘종의 특성을 나타내었다.

일반적으로 산성토양에는 Fe, Mn 및 Al과 같은 중금속이 다량 존재하여 식물의 성장에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Sanders 1983). 산성토양에서 Al 독성에 의한 식물체의 생리생화학적 기작은 아직 잘 밝혀져 있지 않았지만 뿌리 정단분열조직의 세포분열을 억제하고 뿌리생장을 억제함으로써 수분과 영양분의 흡수를 방해할 뿐만 아니라 인의 흡수와 지상부로의 수송에 영향을 미침으로써 인 결핍을 야기하는 것으로 알려져 있다(Horst et al. 1982, Goldman et al. 1989). 특히 콩과식물에 있어서 Mn 독성은 근류 형성을 방해하여 질소 결핍을 유발하며(Foy et al. 1978, Evans et al. 1987), 때때로 과도한 Mn은 Fe, Mg, Ca원소의 결핍을 야기하는 것으로 알려져 있다(Foy et al. 1981, Horst and Marschner 1978).

영양소가 결핍된 서식처에 생존하는 식물의 경우, 뿌리털과 균근을 발달시켜 지상부에 대한 지하부 비율을 높이고, chelating

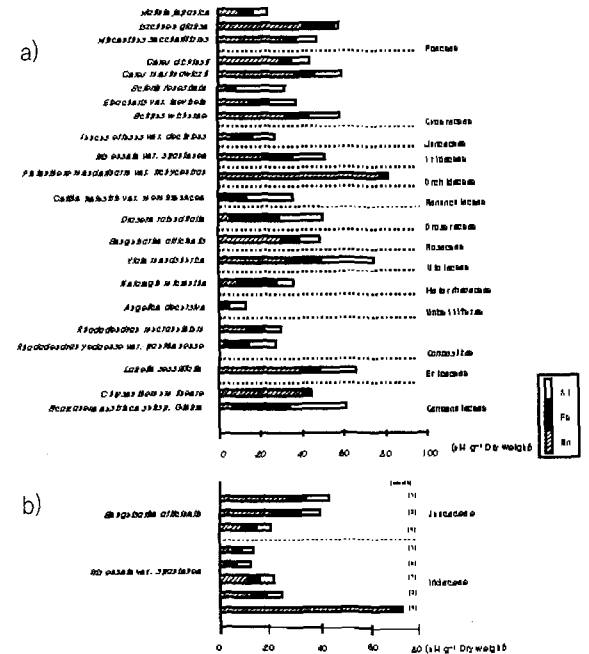


Fig. 3. a) Total contents of heavy metal ions ($\mu\text{M/g DW}$) in the leaves of several plant species collected from Moojechi moor.
b) Seasonal changes of heavy-metal contents in the leaves of *S. officinalis* and *I. ensata* var. *spontanea*.

Table 6. Nitrogen and phosphorus contents in plants. A: Total nitrogen(exception of NO₃-N) and phosphorus contents in the leaves plant species collected from Moojechi moor. B: Seasonal changes of nitrogen and phosphorus contents in leaves of *Sanguisorba officinalis* and *Iris ensata* var. *spontanea*

A)			
Plants name		N (%)	P (%)
<i>Caltha palustris</i> var. <i>membranacea</i>		2.81±0.06	0.239±0.005
<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i>		1.38±0.01	0.150±0.001
<i>Sanguisorba officinalis</i>		3.02±0.01	0.220±0.001
<i>Molinia japonica</i>		0.91±0.05	0.070±0.004
<i>Misanthus sacchariflorus</i>		2.10±0.08	0.122±0.005
<i>Isachne globosa</i>		2.08±0.08	0.073±0.003
<i>Lobelia sessilifolia</i>		2.06±0.06	0.251±0.010
<i>Iris ensata</i> var. <i>spontanea</i>		1.76±0.07	0.138±0.006
<i>Platanthera mandarinorum</i>		2.77±0.14	0.219±0.011
<i>Angelica decursiva</i>		1.93±0.08	0.193±0.008
<i>Elocharis attenuata</i> var. <i>laeviseta</i>		1.82±0.06	0.157±0.005
<i>Sirpus wichurea</i>		1.10±0.05	0.058±0.003
<i>Scleria fenestrata</i>		1.44±0.07	0.127±0.006
<i>Carex maximowiczii</i>		2.30±0.05	0.197±0.004
<i>Carex dickinsii</i>		1.62±0.01	0.326±0.001
<i>Rhododendron mucromulatum</i>		1.69±0.05	0.146±0.004
<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>		2.12±0.09	0.063±0.003
<i>Chrysanthemum lineare</i>		2.10±0.08	0.165±0.007
<i>Scorzonera austriaca</i> sub. <i>glabra</i>		1.64±0.07	0.122±0.005
<i>Haloragis micrantha</i>		1.09±0.02	0.032±0.001
<i>Viola mandshurica</i>		2.32±0.05	0.137±0.003
<i>Drosera rotundifolia</i>		0.38±0.01	0.030±0.001
B)			
Plants (month)		N (%)	P (%)
<i>Sanguisorba officinalis</i>	(5)	3.02±0.03	0.220±0.004
	(8)	2.13±0.06	0.141±0.003
	(9)	2.02±0.06	0.110±0.003
<i>Iris ensata</i> var. <i>spontanea</i>	(5)	3.33±0.03	0.253±0.005
	(6)	1.79±0.05	0.138±0.003
	(7)	1.97±0.08	0.114±0.005
	(8)	1.81±0.04	0.109±0.003
	(9)	1.51±0.02	0.094±0.001

agents 분비함으로써 영양소를 효율적으로 흡수한다. 다년생 식물의 경우 영양소가 풍부할 때 살아있는 기관에 영양물질을 비축하고 이후 생장에 재이용함으로써 빈영양 환경을 극복하는 것으로 알려져 있다(Chapin 1980, Ernst 1983). 또한 영양소가 부

족한 서식처(특히 고산, 툰드라)에서 생태적으로 성공한 대부분의 종들은 광합성 및 체내 모든 대사의 감소를 통해 상대생장률을 낮게 함으로써 조직 내 건물생산을 위한 충분한 미네랄농도를 유지한다(Larcher 1995).

무제치늪에 출현하는 대부분의 식물종들은 토양의 낮은 pH 및 질소와 인 함량에도 불구하고 체내 높은 농도를 유지하였으며, 생장이 왕성한 초기에 높은 함량을 보이다가 후기로 갈수록 점차 감소하는 양상을 보여 빈영양 환경에서의 부족한 영양원소를 다량으로 흡수하여 저장한 후 이들 영양소를 생존과 생장을 위해 재이용하는 전략과 아울러 산성토양에서 높은 농도로 존재하는 Al, Fe, Mn과 같은 중금속이 세포 내에서 야기할 있는 영향을 회피하기 위해 이들 중금속 이온의 유입을 가급적 배제하는 기작을 발달시킴으로써 빈영양의 산성환경을 극복하여 생존해 가는 것으로 여겨진다.

인용문헌

Akeson, M., D. Munns and R.G. Burau. 1989. Adsorption of Al³⁺ to phosphatidylcholine vesicles. *Biochim. Biophys. Acta* 986: 33-40.

Albert, R. and H. Kinzel. 1973. Unterscheidung von Physiotypen bei Halophyten des Neusiedlersee-Gebietes. *Z. Pflanzenphys.* 70: 138-157.

Armstrong, W. 1979. Aeration in higher plants. *Adv. Bot. Res.* 7: 225-232.

Chapin, F.S. III. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 11: 233-260.

Ernst, W.H.O. 1983. Element nutrition of two contrasted dune annuals. *J. Ecol.* 71: 197-209.

Evans, J. and B.J. Scott. 1987. Manganese tolerance in subterranean clover (*Trifolium subterranean* L.) genotypes grown with ammonium nitrate or symbiotic nitrogen. *Plant Soil* 97: 207-215.

Franson, M.A.H. 1985. Standard methods for the examination of water and waste water. APHA 16th ed. pp. 379-450.

Foy, C.D., R.L. Chaney and M.C. White. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29: 511-566.

Foy, C.D., H.W. Webb and J.E. Jones. 1981. Adaptation of cotton genotypes to acid, manganese toxic soil. *Agron. J.* 73: 107-111.

Goldman, I.L., T.E. Carter Jr and R.P. Patterson. 1989. A detrimental interaction of subsoil aluminium and drought stress on the leaf water status of soybean. *Agron. J.* 81: 461-463.

Horst, W.J. 1982. Quick screening of cowpea genotypes for manganese tolerance during vegetative and reproductive growth. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 145: 423-435.

Horst, W.J. and H. Marschner. 1978. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Soil* 50:

- 287-303.
- Justin, S.H.F.W. and W. Armstrong. 1987. The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. *New Phytol.* 106: 465-495.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology* (3 Ed.). Springer-Verlag, Berlin. pp. 200-213.
- Marschner, H. 1991. Mechanism of adaptation of plants to acid soil. *Plant Soil* 134: 1-20.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London. pp. 626.
- Martin, M.H. 1968. Conditions affecting the distribution of *Mercurialis perennis* L. in certain Cambridgeshire woodlands. *J. Ecol.* 56: 775-793.
- Mendelssohn, I.A., K.L. McKee and W.H. Patrick. 1981. Oxygen deficiency in *Spartina alterniflora* roots: Metabolic adaptation to anoxia. *Science* 214: 439-440.
- Ottow, J.C.G., G. Benckiser, I. Watanabe and S. Santiago. 1982. Multiple nutritional soil stress as the prerequisite for iron toxicity of wetland rice (*Oryza sativa* L.). *Trop. Agr.* 60: 102-106.
- Raven, J.A. 1979. Intracellular pH and its regulation. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 30: 289-311.
- Sanders, J.R. 1983. The effect of pH on the total and free ionic concentrations of manganese, zinc and cobalt in soil solutions. *J. Soil Sci.* 34: 315-323.
- Song, S.D. and M. Monsi. 1974. Studies on the nitrogen and dry matter economy of a *Lespedeza bicolor* var. *japonica* community. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo. Sec. 3.* 11: 283-332.
- Virmani, S.S. 1977. Varietal tolerance of rice to iron toxicity in Liberia. *Int. Rice Res. Newsl.* 2: 4-10.

(2003년 4월 18일 접수; 2003년 5월 9일 채택)

The Patterns of Inorganic Cations, Nitrogen and Phosphorus of Plants in Moojечи Moor on Mt. Jeongjok.

Bae, Jeong-Jin, Yeon-Sik Choo and Seung-Dal Song

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

ABSTRACT : To investigate ecophysiological characteristics of plants species adapted to moor habitat, we selected 22 species plants and analyzed inorganic cations (K, Ca, Mg), heavy metals (Al, Fe, Mn) and total nitrogen and phosphorus quantitatively. Moojечи moor indicated typical acidic and oligotrophic conditions with pH of 5.0~5.6 (pH 4.3~5.1 in soil) and EC of 15~30 μ S/cm, and contained very low contents of soil divalent cation such as Ca and Mg but high contents of heavy metals (esp. Al). With respect to inorganic cation contents, investigated plants species showed remarkable interspecific difference. Plant species belonging to *J. effusus* var. *decipiens*, *M. japonica*, *I. globosa*, *M. sacchariflorus*, *R. mucronulatum*, *R. yedoense* var. *poukhanense*, *H. micrantha*, *D. rotundifolia* showed very low contents of inorganic cation below 400 μ M/g DW, but plant species of *C. palustris* var. *spontanea*, *L. sessilifolia*, *P. mandarinorum*, *C. lineare*, *S. austriaca* sub. *glabra*, *V. mandshurica*, *A. decursiva* showed high cation contents in leaves. Especially, *S. austriaca* sub. *glabra* (Compositae) and *V. mandshurica* (Violaceae) showed pattern accumulating Ca and Mg with plant growth, but *I. ensata* var. *spontanea* (Iridaceae) and *S. officinalis* (Rosaceae) showed decreasing tendency. Meanwhile, most plant species showed low contents of soluble metal ions in leaves in spite of high heavy metal contents on soil, and indicated remarkable interspecific differences in the total contents and composition of heavy metals accumulated. Despite low contents of N and P on soil, most plant species indicated relatively high contents of N and P in leaves at the early stage of growth, and showed slowly decreasing pattern according to growth. Consequently, it seems that plant species inhabited on Moojечи moor cope with acidic-oligotrophic conditions, accumulating inorganic cations and nitrogen at the early growing stage and reutilizing them in the course of growth, and developing heavy metal excluding mechanism.

Key words : Acidic, Heavy Metals, High-moor, Inorganic Ions, Oligotrophic, Nitrogen, Phosphorus